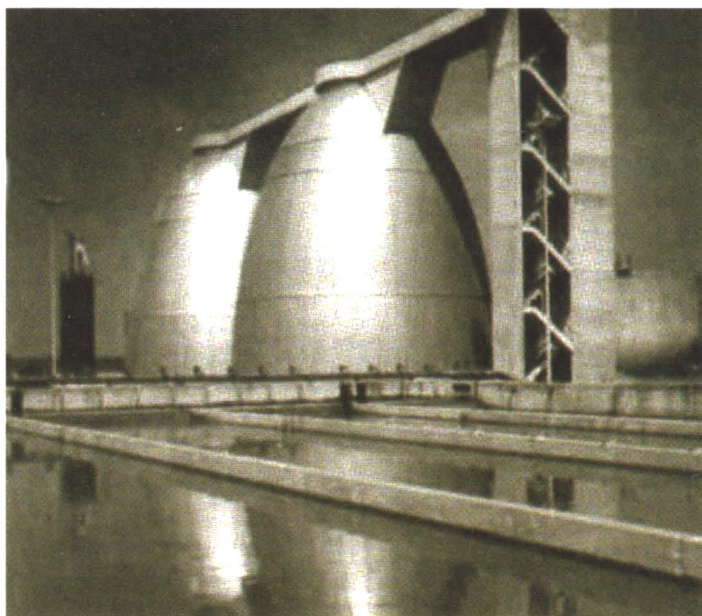


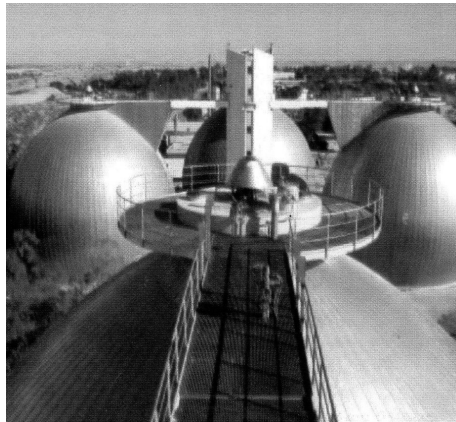
Л. Ф. Долина, П. Б. Машихина

**Осадки
сточных и питьевых вод:
Проблемы и решение**



L.F.Dolina, P.B.Mashihina

The sediment
of the waste and drinking waters:
problems and decisive



Dnepropetrovsk 2014

УДК 628.1.033:628.336

ББК 31.294

Д 64

Рецензенты:

д-р техн. наук., проф. Л.С.Савин (ПГАСА)

д-р техн. наук., проф. Н.Н.Беляев (ДИИТ)

д-р техн. наук., проф. В.Д.Петренко (ДИИТ)

Рекомендовано к печати Ученым советом,

Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна

Долина Л.Ф. Машихина П.Б.

Д 64 Осадки сточных и питьевых вод: проблемы и решения.

-Днепропетровск: «Континент»

49069 ул. Артема 91Б,

Свидетельство о внесении в Государственный реестр издателей, изготовителей и распространителей издательской продукции

ДК № 1591 от 03.12.2007 г.

ISBN 978-743-8241-24-1

В монографии рассматриваются вопросы, связанные с обработкой осадков, шламов и отходов сточных и питьевых вод.

Для студентов, аспирантов, научных работников и проектировщиков, специализирующихся в области очистки сточных и питьевых вод и охраны окружающей среды.

In this book the up-date technologies and egupment for processing the sediment of the waste and drinking waters.

This book will be help ful for students, postgraduates, and experts working in the field of waste and drinking waters treatfments, water, supply and ecology.

УДК 628.1.033:628. 336 ББК 31.294 Д 64

© Л.Ф. Долина, П.Б. Машихина, 2014

ISBN 978-743-8241-24-1

Природа едина и неделима
Природа непостижима... но познаваема
Природу обмануть нельзя

The nature is one and indivisible
The nature is incomprehensible ... but cognizable
The nature can't be deceived

Содержание

	Стр.
Введение.....	7
Глава 1. Краткая характеристика осадков сточных вод.....	11
1.1 Виды, состав и свойства осадков сточных вод.....	11
1.2 Методы обработки осадков.....	16
Глава 2. Эколого-экономические аспекты обработки и использования осадков сточных вод.....	19
2.1 Управление осадками сточных вод – важнейшая экологическая проблема.....	19
2.2 Повышение энергоэффективности станций очистки сточных вод.....	26
2.3 Новые технологии по использованию энергетического потенциала осадка сточных вод.....	33
2.4 Биогаз – ресурс возобновленной энергии.....	42
Глава 3. Технологии и сооружения направленные на уменьшение выхода избыточного активного ила (ИАИ)	45
3.1 Технологии, применяемые в обработке избыточного активного ила.....	45
3.2 Утилизация избыточных активных илов.....	51
3.3 Сокращение избыточного активного ила в процессе очистки сточных вод.....	57
Глава 4. Обезвоживание осадков сточных вод и производственных шламов.....	66
4.1 Выбор оборудования для обезвоживания осадков сточных вод и производственных шламов.....	66
4.2 Обезвоживание осадков центрифугированием.....	75
4.3 Обезвоживание осадков на фильтровальных установках различных конструкций.....	84
Глава 5. Термическая обработка осадков сточных вод и производственных шламов.....	102
5.1 Термическая сушка осадков сточных вод и производственных шламов.....	102
5.2 Сжигание осадков сточных вод и системы пылегазоочистки дымовых газов. Утилизация золы сжигания осадка.....	120

Глава 6. Современные методы обработки и утилизации осадков, содержащих тяжелые металлы.....	138
6.1 Краткая характеристика тяжёлых металлов.....	138
6.2 Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков, содержащих тяжелые металлы.....	141
6.3 Утилизация гальванических осадков железнодорожных предприятий...	152
6.4 Реагентная технология обезвреживания осадков сточных вод.....	156
Глава 7. Утилизация осадков и шламов различных производств.....	167
7.1 Утилизация осадков и шламов после электрохимических процессов обработки вод.....	167
7.2 Совместная утилизация промышленных отходов.....	173
7.3 Современные методы утилизации нефтесодержащих осадков.....	176
Глава 8. Переработка и утилизация осадка при подготовке питьевых вод в водоснабжении.....	187
8.1 Обработка осадков водопроводных станций. Прием водопроводных осадков на канализационные очистные сооружения.....	187
8.2 Переработка осадков, образованных при подготовке питьевых и очистке атмосферных сточных вод.....	194
8.3 Утилизация осадка, образующегося на станциях, обезжелезивания подземных вод.....	198
Литература.....	205



Специалисты различных стран, занимающиеся проблемами обработки воды, сталкиваются с одними и теми же вопросами:

- обеспечение всего живого на нашей планете чистой и приятной на вкус питьевой водой;
- придание этому сырью, без которого невозможно развитие цивилизации, свойств, необходимых для каждого вида применения;
- сброс отработанной воды в естественную среду, не нанося ей вреда, и возможность дальнейшего использования сбросов;
- переработка осадков, шламов и отходов, поступающих с различных установок по очистке воды, с тем, чтобы они были полезными или, по крайней мере, безвредными для окружающей среды.

Mémento technique de l'eau

„Degrémont”

Введение

Процессы самоочищения природы из-за больших ксенобиотиков и высокой их устойчивости к размножению идут очень медленно. Поэтому актуальной экологической задачей является восстановление окружающей среды: рациональная переработка промышленных и сельскохозяйственных отходов; санация и восстановление плодородия земель, загрязненными токсичными химическими веществами и радионуклидами; утилизация осадков сточных вод очистных сооружений; очистка водных источников и т.д.

Одной из многочисленных экологических проблем современной цивилизации является утилизация отходов производства и потребления, в том числе осадки сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений. Действующее законодательство Европейского Союза в области утилизации ОСВ ужесточено в отношении содержания тяжелых металлов. Применяемые на сегодняшний день способы захоронения, складирования, сжигания, компостирования, использования ОСВ в сельском хозяйстве не будут допускаться законодательством ЕС. Поэтому поиск новых технологий утилизации ОСВ крайне актуален.

Осадки городских очистных сооружений представляют собой органические (до 80%) и минеральные (около 20%) примеси, выделенные из воды в результате механической, биологической и физико-химической очистки. В состав ОСВ входят вещества, обладающие общетоксическим, токсикогенетическим, эмбриотоксическим, канцерогенным и другими негативными свойствами. В ОСВ могут содержаться тяжелые металлы Cr, Cd, Hg, Cu, Pb, Co, Zn, Mo, патогенные организмы (бактерии, простейшие, гельминты, вирусы), избыточное количество нитратов, токсичные вещества, пестициды, полихлорированные бифенилы, лифатические соединения, поверхностно-активные вещества, полициклические ароматические вещества, фенолы, нитрозамины. Хранящиеся на иловых площадках и отвалах осадки очистных сооружений, как правило, относятся ко второму классу (высоко опасные) или третьему классу (опасные) отходов. Выделяемые из ОСВ вредные газы могут превышать ПДК в несколько раз, дурно пахнут. Их запах равен 4-5 баллам по шкале органолептических показателей.

Основная масса осадков складывается на иловых площадках и отвалах, создавая технологические проблемы в процессе очистки сточных вод. Условия их хранения, как правило, приводят к загрязнению поверхностных и подземных вод, почв, растительности. Уровень использования отходов городов и осадка сточных вод в сельском хозяйстве стран СНГ пока не высок. В почву вносятся не более 4 - 6 % осадка сточных вод с очистных сооружений крупных городов. Большая часть отходов вывозится на свалки, создающие опасные очаги загрязнения окружающей среды. При этом безвозвратно теряются содержащиеся в отходах полезные компоненты.

В последние 15-20 лет на большинстве очистных сооружений очистка карт иловых площадок не осуществлялась, и в настоящее время они переполнены. В результате этого: а) некуда сбрасывать вновь образующиеся осадки; б) при паводке очень вероятно разрушение обваловки и поступление содержимого карт иловых площадок в реки. Пример тому паводок 2013 года на реке Днепр в городе Киеве на Бортнической станции аэрации.

Проблема обработки и использования (утилизации) осадков сточных вод приобретает особый смысл, так как имеет не только экологическое, но и экономическое значение, содействуя восполнению сырьевых и материальных ресурсов, а так же энергосбережению.

В последние годы в зарубежных странах деятельность в области ресурсосберегающих и природоохранных технологий стала одной из перспективных и прибыльных. В США управление отходами занимает 4-е место среди отраслей промышленности по годовому обороту капитала.

В странах ЕС темпы роста в этой сфере экономики ежегодно составляет 20 % , их рост ожидается до 50 % . Реализация концепции «разделения и утилизации» способствует не только решению экологических проблем, но и позволяет получить прибыль.

Согласно сообщению агентства Рейтер, в префектуре Нагано, на северо-западе от Токио, „обнаружен новый источник природных богатств - сточные воды”. Исследование показало, что в пепле, который остается после сжигания осадка сточных вод, обрабатываемых на очистной станции города Сувы, содержится золото, причем там его намного больше, чем в руде, добываемой на самых богатых золотых приисках Японии. Префектура Нагано ожидает, что всего за один финансовый год это золото принесет доход в 15000000 иен (свыше 167000 долларов США). Как говорится в сообщении, высокое содержание золота в сточных водах объясняется тем, что в этой местности много предприятий точного машиностроения, использующих этот драгоценный металл.

Используя органические осадки животноводческих предприятий, мясомолочной промышленности, а так же осадки станций очистки бытовых сточных вод в Украине можно вырабатывать 54 млн.м³ биогаза ежегодно, что позволит заменить 24 тыс.т. бензина [1,2]

В Украине эксплуатируется 18 станций для очистки бытовых сточных вод, но только на четырех из них в Харькове, Одессе, Киеве, Кривом Роге имеются установки для получения биогаза из осадка. Работают эти установки на низком технологическом уровне, а в Днепропетровске на Левобережной станции аэрации они вообще не работают. И это в Украине, где особенно остро стоит вопрос об газообеспеченности и энергосбережении.

„ Для создания дееспособных и респектабельных природоохранных технологий нужны не только средства и умные головы, но и стремление и политическая воля (на всех уровнях) для их внедрения в производственных масштабах”. Пишет профессор Пашаян А.А. с коллегами из России [3] и далее продолжает: „ ... надо поощрять (платить зарплату) госслужащим экологической сферы не за активную фискальную деятельность, а за то, сколько новых технологий внедрено при действующих очистных сооружениях и каков экономический эффект”

В США и других развитых странах по оценке специалистов, до 3% общего расхода электроэнергии приходится на очистку сточных вод. Энергопотребление типичной станции очистки городских сточных вод (с аэротенками и метантанками) составляет в среднем 0.6 кВт ч/ м^3 сточных вод.

Высказывается мнение о возможности использовать сточные воды в недалекой перспективе в качестве энергетического сырья, при этом сточные воды следует рассматривать с трех позиций: энергия содержащая в органических веществах; тепловой энергетический потенциал; энергия, эквивалентная затратам на производство минеральных удобрений, которые могут быть извлечены из сточных вод. Исходя из этого, считается возможным получение энергии в количестве 1.9 кВт/ч из одного кубометра сточных вод.

Эффективная работа метантенков или анаэробных биореакторов в значительной степени определяет общие затраты на обработку и утилизацию осадка. Поскольку органические загрязнения трансформируются в биогаз, реконструкция и наладка работы метантенков или анаэробных биореакторов даст двойную экономию: во-первых, за счет получения биогаза, во-вторых, за счет сокращения количества осадка, подлежащего дальнейшей обработке и утилизации. Отсюда необходимость реконструкции сооружений по обработке осадков сточных вод и не только этих сооружений, но и всех станций. Большинство станций по очистке городских сточных вод на Украине запроектированы и были построены в 40-60-х годах прошлого столетия и конечно за это время устарела и технология и сооружения. В тоже время указанные проблемы достаточно эффективно решены и продолжают разрабатываться в Европейском Союзе (Дания, Финляндия, Швеция и др.), в США. Даже в России эти проблемы решены, но только, в двух городах – Москве и Санкт-Петербурге, где возможно познакомиться с новыми передовыми технологиями и сооружениями, по обработке осадков и переработке сточных вод. На Украине, к большому сожалению, таких станций не имеется. Это объясняется многими причинами, которые были указаны ранее, а также недостаточным финансированием водопроводно-канализационного хозяйства.

На модернизацию существующих коллекторов, на развитие и расширение городских сетей и оборудования станций в столице Австрии – городе Вене ежегодно

тратится около 36 млн. евро [4], по этому система очистки сточных вод в Вене признана одной из лучших в мире и лучшей в Европе. Здесь внедрена 2х ступенчатая биоочистка от фосфора и азота, а также решены проблемы обработки и утилизации осадков и неприятных запахов не только на станциях, но на прилегающих коллекторах.

На Украине трубопроводы водопроводно-канализационного хозяйства изношены на 40-80% и об этом нам напоминают ежедневные аварии и чрезвычайные ситуации. Только в начале 2013 года прошли две крупные аварии с трубопроводами: в Крыму (в районе Евпатории) – 7км непригодных труб и в районе Львова (тоже примерно 7 км непригодных труб) А в это время в Днепропетровске останавливаются трубопрокатные заводы, так как не развит внутренний рынок потребления труб, а внешний рынок (Европа, Россия и др.) в виду экономического кризиса не в состоянии покупать нашу трубную продукцию или не хотят.

В этой монографии затронуты вопросы не только обработки и утилизации осадков сточных вод и отходов промышленности и сельского хозяйства, но и другие проблемы, связанные с основным вопросом – реконструкции и модернизации всего водопроводно-канализационного хозяйства.

Авторами проанализированы существующие способы обработки и утилизации осадков, отходов и шламов различных отраслей промышленности и сельского хозяйства.

На основании накопленного в течение последнего десятилетия опыта, предложены принципиально новые технологии и оборудование для утилизации осадков.

По мнению авторов, данная работа будет представлять интерес для работников водопроводно-канализационного хозяйства, металлургической, нефтеперерабатывающей, машиностроительной и атомной промышленности, а так же для студентов технических вузов.

Глава 1.

Краткая характеристика осадков сточных вод.

Человек во все времена стремился взять на вооружение все лучшее у Природы, имеющей во много раз более солидный возраст. Функциональное своеобразие и совершенство простейших микроорганизмов, растений и животных будет вечно оставаться предметом человеческого научного познания Природы. Знания, полученные от такого мудреца с жизненным опытом в миллионы лет, берутся на вооружение конструкторами, врачами, учеными и инженерами многих отраслей науки и производства.

Именно многофункциональность некоторых животных и растений имеет немалый и оправданный интерес для некоторых видов деятельности человека и предпринимательства. Синтез хорошо апробированных самостоятельных решений и технологий нередко позволяет использовать опыт природы для одновременного решения достаточно сложных задач.

1.1 Виды, состав и свойства осадков сточных вод.

Осадки представляют собой суспензии, выделяемые из сточных вод в процессе их механической, биологической, химической и физико-химической очистки. Объем осадков зависит от вида обрабатываемых сточных вод и принятого метода очистки. При совместной очистке бытовых и производственных сточных вод (городских) объем образующихся осадков обычно не превышает 0.5 - 4.0 % объема очищаемой воды (60 – 70 % от общего количества осадка при этом составляет избыточной активный ил). При локальной очистке производственных сточных вод, особенно при химическом методе очистки для выделения из неё нерастворимых примесей, количество образующихся осадков может достигать 10 – 40% расхода сточных вод.

Проблема обезвреживания и утилизации осадков, выделяемых в процессе очистки сточных вод, является наиболее сложной, а технология обработки – наименее разработанной.

Конечная цель обработки осадков сточных и природных вод состоит в превращении их путем проведения ряда последовательных технологических операций в безвредный продукт, не вызывающий загрязнения окружающей природной среды.

При этом ценные компоненты, содержащиеся в осадке, должны быть максимально утилизированы.

По существу, единой универсальной классификации осадков, в том числе и радиоактивных отходов, не существует. [5]

По химическому составу осадки подразделяются на три группы [6]

- 1** преимущественно **минерального** состава;
- 2** преимущественно **органического** состава, имеющие зольность менее 10%;
- 3** имеющие в своем составе вещества **органического и минерального происхождения**; зольность таких осадков может изменяться от 10 до 60%

Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки.

Таблица 1. Химический состав осадка первичных отстойников и активного ила городских сточных вод, % [7]

Вид осадка	Беззольное вещество			Сухое вещество		
	Белки	Жиры	Углеводороды	N	P	K
Осадок первичных отстойников	28-32	25-30	14-18	5-6	3-4	0.2-0.6
Активный ил	40-44	18-23	4-7	8-10	8-9	0.3-0.4

Химический состав осадков производственных сточных вод отличается большим разнообразием и существенным образом влияет на выбор метода их обработки. Если осадки содержат соединения Fe, Al, Cr, Cu, то процессе обезвоживания таких осадков интенсифицируется и уменьшается расход реагентов на коагуляцию (флокуляцию) перед обезвоживанием. Такие вещества, как жиры, масла, нефть, волокна, нарушают процессы уплотнения и коагуляции (флокуляции) осадков, уменьшают их водоотдачу. При содержании ионов тяжелых металлов, соединений хрома, мышьяка и др., а также красителей, поверхностно-активных веществ, моющих средств снижается газовыделение, ухудшаются процессы анаэробного и аэробного сбраживания осадков, снижается качество осадка при утилизации его как удобрения.

Французская фирма “Degremont” [8] сделала попытку классифицировать осадки различных типов в соответствии с их происхождением и содержанием в них гидрофильных коллоидов, которые играют основную роль в поведении осадков в процессе обезвоживания. Согласно этой классификации различают осадки:

- **Гидрофильный органический осадок** – один из самых распространенных категорий осадков. В осадке большая доля гидрофильных коллоидов и это создает трудности при его обработке. Сюда относятся осадки при очистке бытовых сточных вод (сырой осадок, избыточный активный ил, сброженные осадки и др.), осадки пищевой и перерабатывающей промышленности (пивные заводы, бойни, консервные заводы, животноводческие фермы), текстильная промышленность, нефтехимия и др.

- **Гидрофильный, маслосодержащий** – осадок после очистки вод от нефти, машиностроительные заводы, холодная прокатка, металлургия.

- **Гидрофобный, маслосодержащий** – осадок после очистки вод прокатных станов, водоподготовка.

- **Гидрофильный неорганический** – осадок после очистки производственных сточных вод

(обработка металлов, гальванизация, окраска), производства неорганической химии и красящих веществ, кож заводы. **Гидрофобный неорганический** – осадок, получаемый при очистки производственных сточных вод в производстве чугуна, в литейных цехах, сталелитейные заводы, цеха газоочистки, обогащательные фабрики угля, очистка газов при сжигании мусора, производство целлюлозы.

- **Волокнистый осадок** – осадок, получаемый от производства бумажной пульпы, в очистке вод от производства картона. Волокнистый осадок, как правило, легко обезвоживать, за исключением тех случаев, когда интенсивная очистка от волокна делает его гидрофильным в результате появления в нем гидроксидов металлов или активного ила, либо того и другого.

-Гранулометрический состав осадка.

Водоотдача осадков во многом зависит от размера частиц их твердой фазы. Чем меньше частицы, тем хуже водоотдача осадков. Органическая часть осадков быстро гнивает, выделяя неприятный запах, при этом увеличивается количество коллоидных и мелкодисперсных частиц, вследствие чего снижается водоотдача осадков.

Осадок первичных отстойников состоит из частиц крупностью > 7-10 мм (5-20%), крупностью 1-7 мм (9-33%), а крупностью < 1 мм (50-88% от массы сухого вещества). В активном иле количество частиц размером < 1 мм составляет 98%, размером 1-3 мм – 1,6%, а больше 3 мм – 0,4% от массы сухого вещества. Сброженный в метантенках или биореакторах осадок по сравнению со свежим имеет более мелкую и однородную структуру и содержит частиц размером < 1 мм в среднем 85%.

-Характер воды содержащейся в осадке.

Эта вода представляет собой сумму свободной воды, которая может быть легко удалена, и связанной, включающей коллоидальную гидратную воду, капиллярную, клеточную и химически связанную воду. Выделение связанной воды требует значительных усилий, например, клеточная вода может быть отделена только тепловой обработкой (термическим кондиционированием, сушкой или сжиганием).

-Кажущаяся вязкость и связанная с ней текучесть осадка.

Иловая суспензия не является ньютоновской жидкостью, поскольку найденное значение вязкости очень относительно и зависит от приложенного напряжения сдвига.

Вязкость можно рассматривать как меру интенсивности сил взаимосвязи между частицами. Она так же позволяет оценить, тиксотропный характер осадка (способность осадка образовывать гель в состоянии покоя и возвращать текучесть даже при слабом встряхивании). Это свойство очень важно для оценки способности осадка к сбору, транспортировке и перекачиванию.

Удельное сопротивление осадков – сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице. Удельное сопротивление, характеризующее водоотдачу осадков, позволяет выбирать методы обработки осадков, а так же осуществлять соответствующие технологические расчеты сооружений.

Удельное сопротивление осадков городских сточных вод определенным образом зависит от вида сточных вод промышленных предприятий преобладающих в данном городе.

Таблица 2. Влажность и удельное сопротивление осадков [9, 7, 6]

	Влажность, %	Удельное сопротивление фильтрации $г \times 10^{10}$, см/г
1	2	3
Сырой осадок городских сточных вод	91-97	50-1000
Уплотненный активный ил	96.3-98	400-8000
Сброженный в метантенках сырой осадок	92.5-96	400-2000

1	2	3
Сброженная смесь сырого и уплотненного активного ила в условиях: - мезофильных - термофильных	96-98 96-98	800-6800 4000-10000
Шлак, полученный при нейтрализации: - травильных растворов известью - гальванических сточных вод известью	63.1-89.8 95.5-97	2.9-6.5 15-45
Кожевенный завод	58.3-92.7	54-220
Уплотненный активный ил с очистных сооружений завода синтетического каучука	94.4-97.5	55-90

Теплофизические характеристики осадков, необходимые для правильной организации и расчета процессов термической обработки осадков.

Теплота сгорания сухого вещества осадков в среднем составляет 16.7 - 18.4 МДж/кг, высшая теплота сгорания горючей массы 24.3 – 26.4 МДж/кг. При увеличении влажности и зольности осадков возрастает их удельная теплоемкость и снижается теплота сгорания и выход летучих.

Количество и влажность осадков зависит от типа, режима эксплуатации и эффективности работы сооружений механической, химической и физико – химической очистки производственных сточных вод и хозяйственно – бытовых сточных вод с которыми они очищаются вместе.

Бактериальное загрязнение осадков.

Есть осадки, которые не имеют бактериального загрязнения (некоторые радиоактивные и химических производств и др.) Осадки городских сточных вод в своем составе могут содержать все основные формы бактерий. Бактериальное загрязнение осадков на порядок выше, чем сточных вод. В 1 м³ сырого осадка влажностью 94.3% содержится около 42 млн. бактерий, а в 1г сухого вещества осадка – от 740 тыс. до 1 млн.

В 1 кг сырых и сброженных в мезофильных условиях осадках городских сточных вод, а также в избыточном активном иле, содержатся несколько сотен яиц гельминтов. Вирусы находятся в 29.1% проб сырых осадков первичных отстойников, в 17.5% пробах избыточного активного ила и у 12.6% пробах сброженных осадков сточных вод. [7]

Все осадки производственных сточных вод можно разделить на два класса: **инертные и токсичные.**

Кроме того, осадки производственных сточных вод бывают двух видов: **стабильные и нестабильные (загнивающие)**

Отдельные виды осадков требуют обязательной дезинфекции. На различных этапах очистки производственных сточных вод образуются специфические осадки. Например, осадки сточных вод трикотажных предприятий содержат ветошь, волокна, красители и ПАВ, по этому их относят к классу токсичных, зольность осадков 30%.

1.2 Метод обработки осадков

Основной задачей обработки осадков является получение конечного продукта, качество которого обеспечивает возможность его утилизации или сводят к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде.

Выбор рациональной технологической схемы обработки осадков является сложной инженерно – экономической и экологической задачей, выбор правильного решения требует обязательного учета производительности станции, местных условий (климатических, гидрогеологических, строительных, агротехнических, обеспеченность реагентами, топливом, технологическим транспортом и др.), выполнения предварительных экспериментальных исследований способности осадков к водоотдаче, их физико-химических, теплофизических и агрономических характеристик. В большинстве случаев технологическая схема базируется на комбинации различных методов обработки осадков.

Проблема управления осадками сточных вод требует решения двух взаимосвязанных основных задач: использование современных, наиболее эффективных технологий и оборудования для уменьшения массы и объемов осадков; выбор и реализация способов конечного, экологически безопасного размещения и утилизации обработанных осадков сточных вод в окружающей среде. [10] В мировой практике основным способом конечного решения обезвоженных осадков является их почвенное размещение и сжигание. Основным фактором, определяющим область использования их необходимость захоронения осадков, является их химический состав и соответствие требованиям действующей нормативной документации.

Стабилизация – это предотвращение загнивания осадков путем размножения органической части его до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции с окружающей средой.

Кондиционирование – технологический приём, которым обеспечивается наилучшее обезвоживание осадков за счёт изменения структуры и форм связи влажности с частицами твердой фазы перед обезвоживанием или утилизацией.

Обезвоживание осадков – это удаление воды из осадков с целью уменьшения их массы и объема для удобства транспортирования и утилизации.

Обеззараживание или дезинфекция (латын. des – отрицание, inficere – заражать)

- это уничтожение болезнетворных микроорганизмов в осадке [11]

Утилизация осадков – предназначена для извлечения и использования ценных веществ.

Захоронение депонирование осадков сточных вод – следует применять только в случае не возможности утилизации по техническим или экономическим причинам с учетом необходимости предотвращения возможных отрицательных воздействий на окружающую среду.

Уплотнение – наиболее простой, дешевый и распространенный способ уменьшения объема осадков (за счет уменьшения влажности осадков), обеспечивающий повышение производительности последующих сооружений по обработке осадков.

Решение перечисленных и других сложных задач, связанных с переработкой осадков, требует системы, управления осадками на государственном и территориальном уровне [10]

Основной целью создания такой системы является экологически безопасное размещение осадков сточных вод в окружающей среде. Для достижения указанной цели необходимо проведение следующих мероприятий:

- приоритетное финансирование объектов по обработке и размещению осадков;

- организация и проведение экологического мониторинга объектов, на которых осадок используется, складировается или подвергается захоронению;

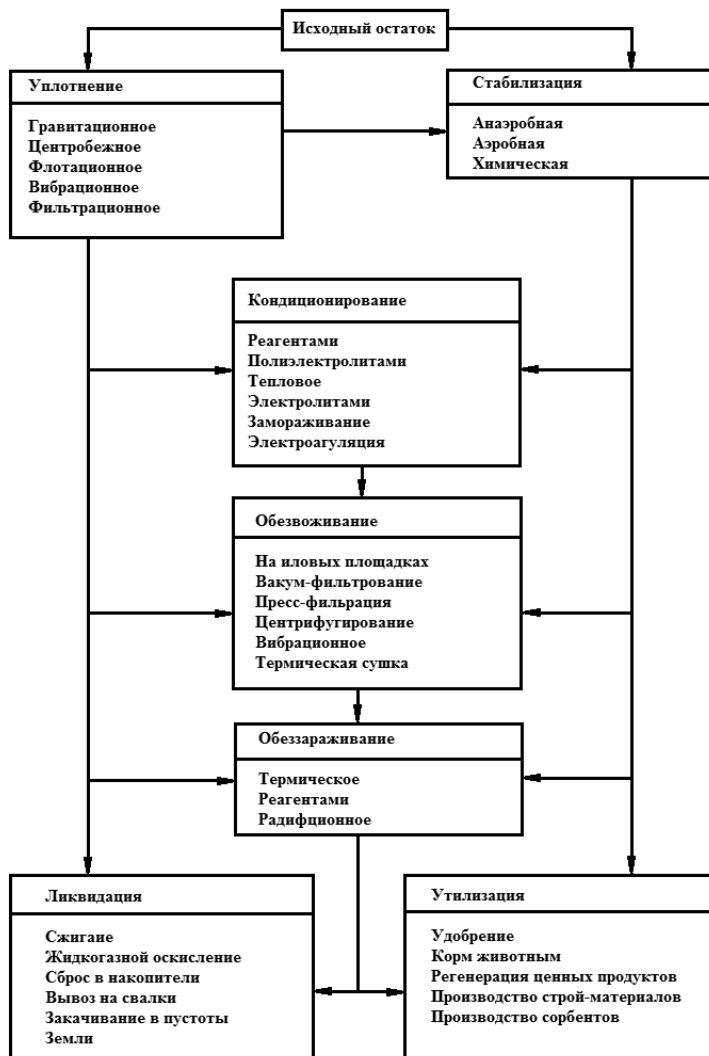
- выбор основных возможных направлений утилизации осадков с учетом их состава, свойств и местных условий;

- выбор метода и обработки осадков с целью их обезвоживания и подготовки к утилизации или захоронению;

- реализация выбранного направления использования или захоронения осадков.

Указанные мероприятия являются техническими осуществимыми при условии согласованных действий организации, относящихся к различным ведомствам и службам, и что очень важно при позитивной позиции контролирующих их органов.

**Рисунок 1. Наиболее употребляемые методы обработки осадков
и их взаимосвязь.**



Глава 2.

Эколого-экономические аспекты обработки и использования осадков сточных вод.

Мы можем наблюдать, что природа, созданная Богом,

Не загрязняет сама себя. Земля с ее многочисленными природными циклами представляет собой чудесную самоочищающуюся систему. Земля создана для того,

Что бы её обитатели вели чистый, здоровый образ жизни.

Такую чистоту мог создать лишь Творец с чистыми замыслами.

| Из христианской проповеди, 2002г. |

2.1 Управление осадками сточных вод – важнейшая экологическая проблема.

Проблема обработки и использования (утилизации) осадков сточных вод приобретает особый смысл, так как имеет не только экологические, но и экономическое значение, содействуя восполнению сырьевых и материальных ресурсов. Осадок сточных вод приставляет собой водонасыщенную пластичную смесь, для хранения которой необходимо создание специальных мест. На территории Украины в отвалах и хранилищах накоплено 50 млн. т осадков по сухому веществу, что при естественной влажности составляет около 5 млрд. т. коммунальных отходов. Для их размещения из хозяйственного оборота изъято более 10 тыс. га земли (в Донецкой обл. - более 500 га. Харьковской - более 300 га). Суммарная площадь, занимаемая осадками всех сточных вод в 1996 году в городе Днепропетровске, составила 3484,22 га. Компенсация за отвод земель под хранение осадков для различных регионов Украины колеблется от 2.5 до 100 тыс. долларов США за 1 га. Из этого следует, что проблема накопления осадков; имеет не только природоохранное, но и экономическое значение.

Анализом установлено, что аналогичная ситуация складывается и в странах СНГ. Например, на очистных сооружениях Москвы и Московской области образуется в среднем до 1,5% осадков сточных вод от количества поступающей

сточной воды, что составляет в год свыше 650 тыс. м³. Подобная ситуация наблюдается и в других крупных городах. Так, в городе Сочи, с шести имеющихся станций полной биоочистки общей производительностью 200 тыс.м³/сутки, образуется 1,6 тыс. м³/сутки осадка средней влажности 97%.Время заполнения иловых площадок слоем осадка равным 30 см составляет от 20 до 143 суток.

Согласно норм, для подсушки 1 м³ осадка; на иловых площадках требуется 1 м² площади, следовательно, для подсушки всех осадков очистных сооружений городских сточных вод Украины требуется около 25-30 тыс. га земли.

В странах ЕС количество осадков после очистки городских сточных вод достигает порядка 9-10,5 млн. т/год. Затраты на отделение, обработку и использование осадков составляют 50% от всей стоимости очистки сточных вод. Проблема осадков возникла в то время, когда их перестали считать полезными, и они превратились в отходы. Стоимость их захоронения довольно высока: в США размещение ила стоит 12 долларов за 1 т, в Испании (Астурия) размещение ила стоит от 6 до 10 долларов за 1 т. В Испании смесь сырого осадка и активного ила называют биосолидами (в переводе с испанского - биологическое солнце).

Согласно директив Европейского сообщества (ЕС), до 2005 года должны очищаться все воды в населенных пунктах с числом жителей свыше 10000, при этом осадки должны перерабатываться. Больше всего осадков образуется в Германии - 2500 тыс. т, а меньше всего в, Люксембурге - 15 тыс. т., при этом на свалку сбрасывается от 90% (Греция) до 19% (Великобритания) осадков, в море - от 61% (Португалия) - до 6% (Германия, Франция, Бельгия), утилизируется - от 45% (Великобритания) - до 10% (Испания, Греция), сжигается - от 28% (Дания) - до 0% (Италия, Греция, Ирландия, Португалия). Однако сброс в море уже запрещен (2000 г.) и после 2000 г. в странах ЕС запрещено открывать новые свалки для складирования осадка. Осадок является хорошим органическим удобрением, а потому при жестком химическом контроле может использоваться в сельском хозяйстве. В странах ЕС примерно 10% осадка используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения. В сельском хозяйстве России и Украины используется всего 1,5% осадков. Причиной этого является то, что в составе большинства осадков содержится много солей тяжелых металлов (таблицы 1 и 2) и токсичных соединений (фенолов, бенз(а)пирена и др.).

**Таблица 3. Характеристики ила (по сухому веществу) станций
аэрации Днепропетровска и Донецка**

Показатели	Днепропетровск			Донецк
	ЛСА	ЮСА	ЦСА	
Образуется ила, т/год	11285,4	3576,8	19980,0	557000
Площадь илов, га	8,6	3,5	21,3	
Органические вещества, %	35-48,9	33,1-51,7	38,5-45,3	40-47
Азот, %	2-3,5	2-2,95	2-3,1	3,8
P2O5, %	0,6-2,1	1,2-1,9	0,7-2,2	2,4
Зольность, %	60-70	50-60	55-60	53-60
Тяжелые металлы, мг/кг:				
свинец	108,6	5,0	19,0	150
цинк-	148,0	52,0	206,0	2600
хром	25,8	23,0	1,39	1000
кобальт	1,15	1,4	1,4	25
медь	24,5	15,0	123,0	1900
ртуть	-	-	-	10
кадмий	0,48	И	5,4	35
никель	13,8	7,6	31,8	500
алюминий	2521,0	2702,0	2390,0	-
марганец	-	-	-	1500

В соответствии с СанПин 22.7.029-99 «Гигиенические требования, касающиеся обращения с промышленными отходами и определения класса их опасности для здоровья населения», канализационные осадки преимущественно имеют IV класс опасности, что предопределяет возможность их открытого хранения. Но высокие концентрации токсичных веществ в почвах при накапливании таких осадков способны сделать непригодными к употреблению сельскохозяйственные продукты, выращенные на таких почвах. Важным обстоятельством является также тот факт, что осадки в различных городах на очистных станциях имеют различный уровень химического загрязнения. Так, небольшие города Украины (Джанкой, Ялта и др.). Не имеющие развитой тяжелой промышленности, содержат либо минимальное количество токсичных веществ, либо их совсем не содержат. Поэтому такие осадки в полном составе могут использоваться как удобрение почва. В то же время осадки

сточных вод крупных мегаполисов (Днепропетровск, Донецк, Харьков, Киев и др.), и небольших городов, которые имеют мощные промышленные предприятия (Макеевка, Кривой Рог, Алчевск) должны подвергаться дальнейшей обработке. Единственный в мире город, где все осадки в объеме 2100 тыс. м³/сут. Утилизируются в сельском хозяйстве – это Париж. Все промышленные предприятия Парижа вынесены за 150 км от городской черты.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод

Страна	Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод, мг/кг по сухому веществу										
	Co	Ni	Sr	Cu	Zn	Pb	Cr 3	Cd	Hg	Fe	Mn
США	-	150	-	750	1500	500	500	50	-	-	-
Франция	20	100	-	1500	300	300	200	15	8	-	-
Швейцария	100	200	-	100	3000	1000	1000	30	10	-	-
Финляндия	100	500	-	3000	5000	1200	1000	30	-	-	3000
Украина	100	200	30	1500	2500	750	750	30	15	25000	200

Эколого-экономическая целесообразность использования осадков сточных вод.

Осадок сточных вод в качестве удобрения рационально транспортировать на поля, находящиеся на расстоянии до 50 км всеми видами имеющегося в хозяйстве транспорта, а затраты на вывоз осадка должны являться неотъемлемой частью эксплуатационных затрат самой очистной станции, т.к. в настоящее время это не является необходимым условием ее эксплуатации.

По данным Запорожской государственной сельскохозяйственной опытной станции, внесение сухого осадка сточных вод в почву в количестве 30 т/га при выращивании зеленой массы люцерны дало прибавку к урожаю 27%, а навоза в количестве 50 т/га - 24%, что свидетельствует об эффективности использования осадка как удобрения. Осадки можно применять для выращивания рассады овощей, для удобрения в зелено-парковом хозяйстве, цветоводстве, садоводстве, питомниках при выращивании саженцев, в частных хозяйствах. Отсутствие оплаты за осадок не способствует заинтересованности персонала очистных станций в их утилизации, а, следовательно, сдерживает его дальнейшее применение. Цену на обработанный осадок можно установить по его химическому составу (табл.3) сравнивая с ценами на минеральные удобрения. Если предположить, что в удобрениях основную ценность представляют биогенные элементы - фосфор, азот, калий, можно вычислить стоимость осадка, которая колеблется в значительных пределах от 11,8 до 66,3

долларов. В среднем - порядка 20-22 доллара. Установлено, что в Украине не менее 30% накопленных осадков (17 млн. т) может быть использовано в сельском хозяйстве, а это может дать прибыль не менее 300-500 млн. долларов.

При использовании избыточного активного ила в сельском хозяйстве согласно норм в странах ЕС содержание тяжелых металлов в сухом веществе не должно превышать следующих значений, мг/кг: 100 N, 100 Pb, 300 Сг, 600 Си, 1500 Zn, 1Hg и т.д.

Технологические особенности извлечения тяжелых металлов из осадков. Учитывая, что большинство осадков в Украине содержат тяжелые металлы, то в случае их извлечения осадки можно использовать как ценное удобрение. В настоящее время существует три основных способа извлечения тяжелых металлов из концентрированных отходов:

- термический (автоклавный гидролиз, сжигание);
- ионообменный с последующей сильнокислотной обработкой;
- химическое выщелачивание концентрированными кислотами и щелочами.

Так называемые „ старые ” осадки, как правило, содержат более высокие концентрации тяжелых металлов, но при этом так же, как и „ свежие ”, относятся к отходам четвертого класса опасности. Описание свойств осадков делают возможным их использование в качестве наполнителя инертного материала для технической рекультивации карьеров, территорий, нарушенных строительными и другими видами работ. Указанное направление является актуальным и с точки зрения **решения социально-экологических задач**. В первую очередь, это относится к регионам с интенсивным развитием горной промышленности (Кривой Рог, Марганец, Донбасс), добычей полезных ископаемых и других материалов (глины, песка, известкового сырья, доломита) открытым способом. **Целью эколого-технической рекультивации карьеров и техногенных ландшафтов с использованием осадков** является возврат территорий, деградированных деятельностью человека, к состоянию, которое имело место до начала производства работ, а также полное восстановление и даже улучшение ландшафта, создание рекреационных зон и т.п.

Ярким примером использования нарушенных земель для рексационно-туристичекой деятельности есть заказник „ Визирка” на Ингулецком горно-обогатительном комбинате (Кривой Рог) [12], а внесение осадков сточных вод, в субстраты нарушенных горными работами земель, позволяет активизировать разительности и экосистем при условии учета норм и механизации процесса внесения осадков [13]

Значительные масштабы в настоящее время [10] получает складирование механически обезвоженного осадка совместно с твердыми бытовыми отходами с целью их захоронения на полигонах. Имеются наблюдения о положительном влиянии

складированных осадков на процессы разложения твердых бытовых отходов и их стабилизацию.

Каждый из этих методов имеет достоинства и недостатки. Еще в 1990 г. были сделаны выводы о перспективности термического сжигания осадков городских сточных вод. Так, в Австрии в перспективе будет сжигаться до 60% осадков, в Швейцарии - до 40%, в Германии - 30%. Однако этот метод не является экологически безопасным, поскольку требуется очистка выбрасываемых газов, и при этом возникают трудности с дополнительной очисткой суспензий, образуемых в системе промывки газов. В то же время сжигание способствует уменьшению объема осадка на 80%, а массы по сухому веществу - на 70%. Конечный продукт по объёму в 25 раз меньше „мокрого”. Так, из объема обезвоженного осадка порядка 1000 м³/сут. путем сжигания получается 90 м³/сут. объема золы, но сжигание осадка высокой влажности тоже нерентабельно.

Франция является одним из мировых лидеров в области сжигания осадка сточных вод. Начиная с 1966 года, по французской технологии в печах с псевдосжиженным слоем эксплуатируется более 30 установок. По французской технологии в Санкт-Петербурге производится сжигание осадков, но при этом происходит выделение токсичных веществ диоксидов и фуранов. Замеры концентрации диоксидов в отходящих газах (1999-2001 гг.) показали наличие их в пределах 13,2-17,6 пг/нм³ при нормативе 100 пг/н м³.

Другим экологически приемлемым методом очистки осадка от тяжелых металлов является замещение в микроорганизмах ила одних элементов на другие. При использовании замещения тяжелых металлов на щелочно-зельные. в первую очередь на кальций, степень уменьшения цинка составила 44-84%, меди 28-62%, никеля 58-92%, свинца 92-99%, хрома 57-77%. Был получен активный ил, отвечающий требованиям, предъявляемым в странах ЕС к активному илу, предназначенному для использования в сельском хозяйстве. К тому же после введения кальция ил становится более ценным органоминеральным удобрением для кислых почв. Однако этот метод не вышел из лабораторных испытаний, и требует промышленного внедрения.

Следующим методом переработки и утилизации осадка является компостирование, заключаются в смешивании их с грубоизмельченными целлюлозосодержащими материалами (древесными опилками, растительными и древесными отходами, бытовым мусором и пр.).

Представляют интерес методы использования осадка городских сточных вод и поверхностных стоков. Эти методы применяются в новой обжиговой технологии получения экологически чистого супер легкого керамзита, что в свою очередь позволяет использовать низкосортные некондиционные мало- и средне пластичные глины.

Активный ил предприятий нефтехимии может быть рекомендован в смеси с землей для рекультивации нарушенных земель, при отсыпке карьеров с последующим выращиванием лесонасаждений и газонных трав, для удобрения земель, отводимых под посадки древесно-кустарниковых насаждений, питомников, парков. Большая часть сухого вещества активного ила нефтехимии составляют вещества белкового происхождения (до 50%), жиры (до 20%) и углеводы (до 8%). Осадок, получаемый после биологической очистки аналогичных сточных вод, обычно имеет водородный показатель pH порядка 6,5÷8. Конечным продуктом трансформации нефтяных загрязнителей сточных вод под действием микроорганизмов является гумус.

Экологическая опасность при использовании ила возникает только в случае бесконтрольного его использования. К наиболее часто встречающимся нарушениям относится систематическое внесение ила без соблюдения существующих регламентов. Как правило, учёт металлов проводится по их валовому содержанию в почве и осадке, в то время как растения используют только подвижные формы тяжелых металлов, поэтому необходимо проверять концентрацию металлов в растительной продукции. Теоретически допустимая норма внесения ила по содержанию общего азота для стоков предприятий нефтехимии - 24-29 т/га абсолютно сухого ила. Считается, что большинство органических загрязнителей в таких осадках разлагается в почве за 1-4 недели, а в растениях они обезвреживаются примерно в течение двух недель. При этом процесс детоксикации интенсивнее протекает в наземной части растений. Кроме того, в илах нефтехимии присутствуют бенз(а)пирен от 26 до 350 мг/кг и СПАВ 173 мг/кг. Учитывая фоновое содержание бенз(а)пирена в почве чистых районов (0,005 мг/кг), при его ПДК в почве - 0,02 мг/кг допустимо вносить в почву не более 5,7-0,5 т/га воздушно-сухого ила. Бенз(а)пирен интенсивно разлагается в почве в весенне-летнее время, следовательно можно предположить, что большее количество ила допустимо вносить именно в этот период.

В Украине эксплуатируется 18 станций для очистки бытовых сточных вод, но только на четырех из них в Харькове, Одессе, Киеве. Кривом Роге имеются установки для получения биогаза из осадка. С 1 кг сухих органических веществ, что имеются в осадках, метановые микроорганизмы вырабатывают 0,2-0,6 м³ биогаза, в котором подержится 65-80% метана.

Используя органические осадки животноводческих предприятий, мясомолочной промышленности, а также осадки станций очистки бытовых сточных вод в Украине можно вырабатывать 54 млн. м³ биогаза ежегодно, что позволит заменить 24 тыс. т бензина.

2.2 Повышение энергоэффективности станций очистки сточных вод.

В последнее десятилетие прогресс в развитии сооружений очистки сточных вод и обработки осадка во всем мире тесно связан с ресурсосбережением. Важнейшим ресурсом энергосбережения является обработка сточных вод. Осадок представляет биомассу, которая может быть эффективно конвертирована в биогаз путем биологической анаэробной переработки (метанового сбраживания).

Проведенный анализ показывает, что недостаточное использование осадков сточных вод связано с необходимостью их очистки от токсичных соединений и тяжелых металлов, а так же отсутствием механизма платы за осадок. Выбор оптимальных технологий очистки и использования осадков сточных вод и разработку новых следует базировать, на рациональном эколого-экономическом подходе.

В США и других развитых странах, по оценке специалистов, до 3% общего расхода электроэнергии приходится на очистку сточных вод. Энергопотребление типичной станции очистки городских сточных вод (с азротенками и метантанками) составляет в среднем $0,6 \text{ кВт ч/м}^3$ сточных вод.

Высказывается мнение о возможности использовать сточные воды в недалекой перспективе в качестве энергетического сырья, при этом сточные воды следует рассматривать с трех позиций: энергия содержится в органических веществах: тепловой энергетический потенциал: энергия, эквивалентная затратам на производство минеральных удобрений, которые могут быть извлечены из сточных вод. Исходя из этого, считается возможным получение энергии в количестве $1,93 \text{ кВт ч}$ из одного кубометра сточных вод.

По нашему мнению энергосбережение в аэробных процессах должно проходить по следующим направлениям: [14]

- снижение времени пребывания сточных вод в азротенке (биореакторе) и соответственно меньший расход кислорода (подачи воздуха);
- получение более осветленных вод за счет реконструкции первичных отстойников;
- совершенствование и создание лучших азраторов, исключающих перерасход кислорода;

В результате анаэробного сбраживания осадков, обладающих значительным энергетическим потенциалом выделяется биогаз, который может обеспечивать 25-50% энергии употребления очистных сооружений. За рубежом основным способом утилизации энергии биогаза является когенерация. Когенерация - это компаративное производство электрической и тепловой энергии из одного первичного энергетического источника, как правило, в непосредственной близости от потребителя энергии.

В докладе Энергетической комиссии штата Калифорния (СИТА) отмечается, что система когенерации на сегодняшний день может быть экологически оправданной при производительности станции очистки сточных вод не менее 16 тыс. м³/сут.

В процессе очистки сточных вод на трех станциях аэрации г. Днепропетровск Левобережной (ЛСА) - производительность 100-160 тыс. м³/сут, Центральной (ЦСА) производительность 220 тыс. м³/сут и Южной (ЮСА) - производительность 90 тыс. м³/сут. образуется свыше 5500 м³/сут, жидких осадков, эти осадки должны подвергаться сбраживанию в метантенках, в результате чего должен вырабатываться биогаз содержащий 65% метана. Однако метантенки на ЛОА и ЦСА уже не работают много лет, и нуждается в реконструкции, а на ЮСА они вообще отсутствуют.

Если учесть, что с 1 кг осадка образуется 900 - 1000 л биогаза, то только в Днепропетровске в сутки можно подучить 55-60000 м³ биогаза. Следует отметить, что переработка осадков сточных вод не налажена даже в столице Украины на Бортнических СА.

Одно из возможных направлений использования биогаза – подача его в сеть природного газа. Собственные энергетические затраты (в тепловой и электрической энергии) могут быть невелики и полностью покрываться при пломбированной выработке тепла и электроэнергии в модульных электростанциях. Следует отметить, что смесь биогаза и природного газа в соотношении 1:10 является по своим характеристикам полностью взаимозаменяемы с природным газом.

Одним из направлений использования биогаза в системе когенерации является местная переработка с осадками сточных вод отходов, образующихся на молочных фирмах, в пищевой промышленности, а также на предприятиях общественного питания, по расчетам, соответственно 250; 97 и 8 МВт и обеспечит суммарное производство 450 МВт энергии. Целесообразным может оказаться транспортирование навоза и осадков на станции очистки сточных вод с неполной загрузкой метантенков.

Украинским правительством предприняты ряд законов, направленных на улучшение энергообеспечения промышленных предприятий. Так Законом Украины №1220-VI „Про внесення змін до Закону України „Про електроенергетику” щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії” приняты поправки к закону об энергетике и введено понятие „зеленый тариф”, который даёт биогазу статус альтернативного вида энергии и обязывает предприятия энергетического комплекса принимать предложения по использованию энергии биогаза.

Закон Украины №1391-VI “Про альтернативні види палива” предоставляет стимулирование в виде освобождения от обстоятельств по ввозной пошлине на оборудование для производства альтернативной энергии из биомассы, а также

освобождение от обязательств по выплате налога на прибыль и НДС на срок до 2020г. Эти законодательные акты существенно могут стимулировать использование биогаза.

Вопросы утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений чрезвычайно актуальны для Украины, как с этической точки зрения, так и с позиций рационального использования земель, ранее отводимых под захоронение осадков. Продукты переработки осадка можно использовать в качестве: удобрений, источника энергии (выработка биогаза), сырья для производства керамзита и др.

Поэтому в настоящее время необходимость дальнейших исследований в этом направлении представляет несомненную ценность.

Эффективность работы метантенков, а в последнее время и боиреакторов, в значительной степени определяет общие затраты на обработку и утилизацию осадка. Поскольку органические загрязнения трансформируются в биогаз, реконструкция и наладка работы метантенков дает двойную экономию: во-первых, за счёт получения биогаза, во-вторых, за счёт сокращения количества осадка, подлежащего дальнейшей обработке и утилизации.

До развала работы метантенков на многих станциях Украины биогаз направлялся в котельную для сжигания с целью выработки пара, используемого для подогрева осадка, подаваемого в метантенк. В летний период количество вырабатываемого биогаза обычно превышает технологические потребности очистных сооружений. Это может позволить перейти к следующему этапу утилизации биогаза на газопоршневых двигателях, приводящих в движение генераторы, вырабатывающих электроэнергию позволяющие дополнительно получать тепло. [15]

В последнее десятилетие широко развивается во всем мире экологически чистые мини – ТЭС, работающие на возобновляемом источнике энергии – биогазе, что очень важно для Украины, в связи с сокращением запасов топлива и проблемой глобального потребления. В ряде стран Европы (Германии и др.) по законодательству предоставляются значительные льготы предприятиям, использующим для выработки электроэнергии топливо на основе биогаза. Такая технология является общепринятой практически на всех зарубежных очистных сооружениях, вырабатывающих биогаз в метантенках (реакторах). Автономная выработка электроэнергии на очистных сооружениях имеет большое значение для повышения надежности их энергоснабжения. [15]

Двигатели мини - ТЭС (например, австрийского концерна «EVN») предусмотрены для смешанного режима работы: биогаз – природный газ. Биогаз не отвечает требованиям, предъявляемым к топливу, подаваемому на двигатели внутреннего сгорания. Поэтому он должен быть очищен от сероводорода и соединений кремния (силоксанов), а также осушен. Мини ТЭС обеспечит,

электроэнергией 50% основных технологических потребителей на станции и будет работать параллельно сетями энергоснабжающих организаций.

Также мини-ТЭС обеспечит 30% потребностей станции в тепловой энергии и прекратит выброс в атмосферу парниковых газов (метана и диоксида углерода).

Анаэробная переработка муниципальных сточных вод стала привлекать внимание после успешного использования в 1980 г. анаэробного процесса в UASB-реакторе (Upflow anaerobic sludge blanket) для очистки концентрированных промышленных сточных вод при мезофильной температуре [16]. Тогда были выявлены следующие отличия анаэробного процесса от аэробного: длительный пусковой период; необходимость доочистки от азота и фосфора; низкое образование избыточного ила (5-20%); небольшой объем реактора, низкая потребность в биогенах; углеродный баланс - 95-процентная конверсия в биогаз; энергетический баланс — преобразование 90% энергии в метан, 3-5% тепловые потери, 5-7% - потребление для роста биомассы.

Особенности анаэробного - процесса: высокая концентрация биомассы в реакторе; образование структурированных многоклеточных агрегатов в форме гранул или плотного ила, состоящих из различных групп микроорганизмов, обеспечивающих конверсию органических веществ, в основном в метан; стабильность процесса при изменении исходного состава сточных вод; возможность работы при высоких нагрузках по органическим веществам. Кроме этого, расходы на строительство и монтаж, а также эксплуатационные затраты в случае анаэробного процесса оказались ниже, чем традиционного аэробного, вследствие минимальной потребности в обслуживании и контроле. Практически, при соответствующих внешних условиях, процесс являлся саморегулирующимся [17].

В начале 1980-х годов анаэробный процесс для очистки муниципальных сточных вод был реализован в Бразилии, Мексике, Колумбии, Кубе, Уругвае, Египте, Индии [18]. Первые результаты были довольно противоречивыми. Во многих случаях не достигались требуемые показатели очистки, возникали неприятные запахи.

Причина заключалась в довольно сложном составе, хотя и относительно разбавленных, муниципальных сточных вод, содержащих значительное количество взвешенных веществ, а также жиров, протеинов, моющих средств. В этих условиях не достигалось требуемое снижение ХПК, в связи с чем возникала потребность в доочистке. Из-за низкого содержания органических веществ получение метана было заметно ниже, чем при очистке промышленных сточных вод. В результате энергетический баланс процесса становился благоприятным только при отсутствии нагрева, что оказывалось возможным в тропических регионах при температуре окружающего воздуха не ниже 20 °С.

К интенсивным исследованиям по адаптации анаэробного процесса в разных странах приступили в начале 2000-х годов. Были предложены несколько вариантов

конструктивного оформления анаэробных реакторов и найдены решения, обеспечивающие получение хороших результатов при низкой температуре без доочистки [17-19]. В настоящее время анаэробный процесс имеет много шансов стать в близкой перспективе основным при очистке муниципальных сточных вод и принципиально изменить ситуацию с энергопотреблением.

Из числа последних разработок в области анаэробной обработки следует отметить анаэробный мембранный биореактор с псевдооживленным слоем AFMBR-реактор (Anaerobic fluidized membrane bioreactor) [19]. В AFMBR-реакторе содержится гранулированный активированный уголь, являющийся носителем биопленки и поддерживаемый во взвешенном состоянии восходящим потоком жидкой фазы (сточных вод). В реактор помещена мембрана, причем движение псевдооживленного слоя гранулированного угля предотвращает ее загрязнение. За счет организации эффективного массопереноса, высокой концентрации активных микроорганизмов и отсутствия их вымывания в AFMBR-реакторе процесс анаэробной очистки низкоконтентрированных сточных вод может завершаться за период времени от минут до нескольких часов. В проведенных опытах по обработке сточных вод, содержащих ХПК на уровне 500 мг/л, при времени пребывания в реакторе 5 часов энергозатраты составили 0,058 кВт·ч/м³, что в 10 раз меньше, чем в традиционном мембранном биореакторе. Энергозатраты на аэрацию фильтрата воздухом для отгонки метана составили 0,05 кВт·ч/м³. Остаточное содержание ХПК и взвешенных веществ составило 7 и 1 мг/л соответственно.

Согласно выполненным оценкам, в полностью анаэробном процессе образуется в два раза больше метана в сравнении с традиционным анаэробным процессом. При этом количество получаемой энергии существенно превосходит энергозатраты собственно анаэробного процесса.

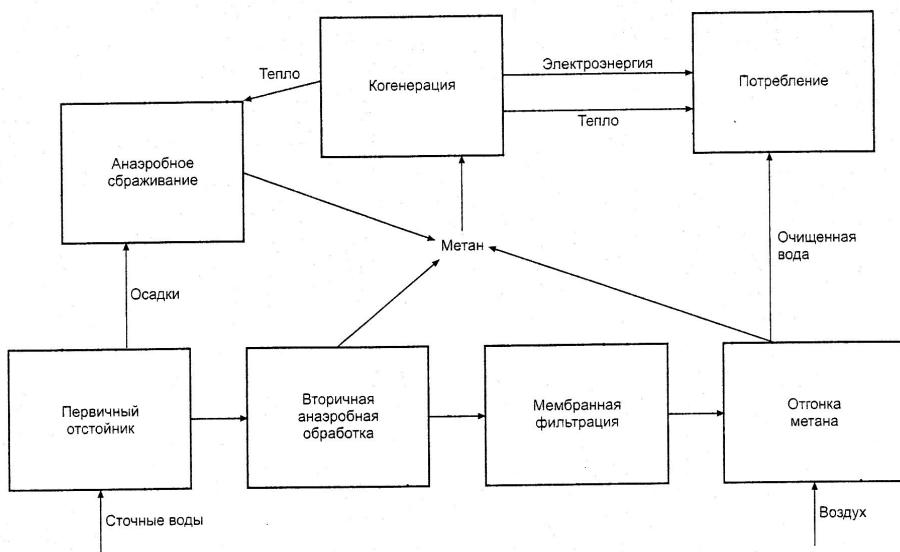
На рисунке 2 представлена схема анаэробной обработки муниципальных сточных вод с получением электрической и тепловой энергии в системе когенерации. Осадок из традиционного первичного отстойника поступает на анаэробное сбраживание. Образующийся метан направляется в систему когенерации. Осветленная сточная вода поступает на вторичную обработку в анаэробный реактор. Получаемый в этом реакторе метан также направляется в систему когенерации, а фильтрат поступает на аэрацию воздухом для отгонки метана в систему когенерации [20]

Технология использования микробных топливных элементов (МТЭ) начала развиваться в 1960-х годах в рамках космической программы США (для переработки отходов в космических полетах). С тех пор сфера применения МТЭ значительно расширилась. В условиях дефицита энергообеспечения МТЭ могут оказаться весьма перспективными устройствами, тем более, когда субстратом для их работы

становятся сточные воды. В этом случае производство электроэнергии сопровождается биodeградацией органической составляющей сточных вод [20,19].

В МТЭ микробы используются для генерирования электроэнергии из биохимической энергии, вырабатываемой при метаболизме органического субстрата. МТЭ состоит из анода и катода, соединенных внешней электрической цепью и разделенных протонообменной мембраной. В анодном пространстве при деградации органического субстрата микробами выделяются электроны и протоны. Протоны перемещаются в катодное пространство через мембрану. Электроны при отсутствии в анодном пространстве акцептора электронов перемещаются к аноду и далее по внешней электрической цепи к катоду. В катодное пространство для замыкания цепи подается акцептор электронов, например кислород.

Рисунок 2. Схема анаэробной обработки муниципальных сточных вод с получением электрической и тепловой энергии в системе когенерации.



По сравнению с начальным этапом разработок плотность тока, получаемая в МТЭ, увеличилась в 10 тыс. раз. Тем не менее, в настоящее время МТЭ не вышли за пределы лабораторий. Реально достигаемая плотность мощности в большинстве случаев ниже 1 кВт/м^3 (для реактора объемом более 1 л), что не позволяет пока рассматривать варианты промышленной реализации данной технологии для извлечения энергии из органического субстрата.

Существует целый ряд проблем, сдерживающих использование МТЭ. Это высокая стоимость мембран и возможность их загрязнения при работе с реальными

сточными водами, значительные затраты, связанные с катализаторами из благородных металлов, необходимых при изготовлении платинированного катода. Серьезным препятствием также является длительный период запуска (от 4 до 103 суток), зависящий от конструктивных особенностей, условий эксплуатации, но, в первую очередь, от типа используемого субстрата. В целом извлечение энергии из органического субстрата в МТЭ является более высоким, чем в анаэробном процессе. Однако на сегодняшний день о подобных результатах можно говорить только в случае субстрата простого состава с высоким содержанием органических веществ. С учетом современного уровня разработок, по оценкам, затраты на реализацию переработки муниципальных сточных вод, основанной на МТЭ, будут в 800 раз больше, чем в случае анаэробного процесса.

Тем не менее, появились сообщения о достижении плотности мощности $2,15 \text{ кВт/м}^3$. В КНР разработан биоэлектрохимический мембранный реактор, совмещающий преимущества мембранного биореактора и МТЭ. Здесь обеспечивается снижение ХПК и содержания аммиачного азота в сточных водах на 92,4 и 95,6% соответственно. При этом в оптимальных условиях достигается плотность мощности $4,35 \text{ кВт/м}^3$. Сообщается о первом крупномасштабном использовании МТЭ. В любом случае заслуживает внимания количество публикаций, посвященных МТЭ, в зарубежной научно-технической периодике, а также тенденция роста исследований в этой области в США, Японии, КНР, странах Европы.

Трудно представить более актуальную в наше время проблематику, нежели повышение энергоэффективности производственных предприятий, в данном случае очистных сооружений канализации. При этом зарубежные авторы, с учетом энергетического потенциала сточных вод, считают реальным пройти путь от снижения энергопотребления при очистке до энергогенерации в процессе переработки сточных вод.

По всей видимости, за рубежом будет расширяться использование систем когенерации для утилизации энергии биогаза. Анаэробный процесс со временем войдет в практику переработки муниципальных сточных вод, настанет черёд использования и микробных топливных элементов.

Продвижение в этом направлении будет определяться тремя группами факторов: технологическими, экономическими и природоохранными. Технологические проблемы, скорее всего, будут разрешены. Об этом свидетельствует развитие за последние 20—30 лет анаэробного процесса переработки муниципальных сточных вод и технологии микробных топливных элементов. Так, например, первые публикации, посвященные UASB-реактору, появились в 1980-х годах. Весьма наглядно сравнить результаты того времени с современными данными.

Среди экономических факторов, которые могут содействовать или воспрепятствовать внедрению новых технологий, отмечают возможность

привлечения государственных и частных инвестиций и различные виды стимулирования. В этом направлении за рубежом, в частности в США, сложилась эффективная практика, ознакомиться с которой более подробно можно в работе [21].

Значительное влияние на работу действующих и перспективы проектируемых предприятий оказывают нормы выбросов загрязняющих веществ. В этом плане для реализации проектов когенерации и анаэробной переработки предстоит сделать еще достаточно много. Во всяком случае, в США есть примеры возврата к сжиганию метана, когда после внедрения системы когенерации у предприятий не оказалось технических возможностей или желания добиться соответствия природоохранным нормативам.

Обращает внимание стремление в целом ряде случаев отказаться от централизованных систем переработки отходов или энергоснабжения в пользу децентрализованных установок. Среди комментариев по этому поводу встречается мнение о повышении, таким образом, надежности функционирования и безопасности производственных объектов. Считается, что поводом для террористического акта с большей вероятностью станет крупное энергетическое предприятие, нежели, например, когенерационная установка.

2.3 Новые технологии по использованию энергетического потенциала осадка сточных вод.

Рассмотрены технологии обработки осадка сточных вод на канализационных очистных сооружениях Санкт-Петербурга после механической и биологической очистки. Технологии термического гидролиза и термофильного и мезофильного сбраживания осадков предложены европейскими компаниями PWT (Германия), Veolia (OTV, Франция) и Cambi (Норвегия). Реализация долгосрочного с 2010 года проекта по использованию энергетического потенциала осадка сточных вод позволит ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» получить уникальный опыт системного подхода к решению проблемы утилизации осадка [22].

Цели программы:

энергосбережение и повышение энергетической эффективности объектов водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга;

внедрение новых технологий выработки электроэнергии за счет вторичных энергетических ресурсов;

защита окружающей среды.

Задача программы - модернизация комплексов обработки и утилизации осадка сточных вод на канализационных очистных сооружениях Центральной и Северной станций аэрации и Юго-Западных очистных сооружениях Санкт-Петербурга с внедрением экономически эффективной системы утилизации вторичных энергетических ресурсов.

Реализация программы позволит достичь следующих результатов:

на Центральной и Северной станциях аэрации и Юго-Западных очистных сооружениях будет модернизирован комплекс обработки осадка сточных вод и внедрена технология использования вторичных энергетических ресурсов;

все указанные очистные станции за счет выработки собственных энергоресурсов смогут снизить потребление электроэнергии от внешних источников на 40-50% и природного газа - на 90-100%;

будет обеспечена возможность переработки всего объема образующегося осадка городских сточных вод с учетом развития территорий и переключения выпусков;

снизится негативное воздействие на экологию за счет гарантированного прекращения вывоза осадка сточных вод на полигоны складирования на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

На протяжении многих лет в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» на канализационных очистных сооружениях наряду с биологической очисткой сточных вод применялась технология обработки осадков, включающая их совместное или раздельное уплотнение и обезвоживание. Площадки для хранения обезвоженного осадка занимали огромную территорию и представляли серьезную угрозу для прилегающих территорий. В конце 1990-х годов был построен первый завод сжигания осадков на Центральной станции аэрации. Вслед за ним появились еще два завода - на Юго-Западных очистных сооружениях и на Северной станции аэрации. На сегодняшний день все три завода принимают также осадок, привозимый с малых и средних канализационных очистных сооружений и, таким образом, обрабатывают весь объем осадков, образующихся на канализационных очистных сооружениях Санкт-Петербурга.

Крупные очистные сооружения потребляют значительный объем энергии в виде электричества, тепла или природного газа. Чтобы наилучшим образом использовать энергетический потенциал осадка, перед специалистами Водоканала была поставлена задача по выбору оптимального решения для производства энергии на Центральной и Северной станциях аэрации.

В настоящее время на канализационных очистных сооружениях Санкт-Петербурга энергия, получаемая за счет сжигания осадка, используется не в полном объеме. На Центральной станции аэрации излишки тепла от процесса сжигания осадка идут на отопление объектов станции, а на Северной станции аэрации тепловая энергия в большей степени преобразуется в электрическую и затем используется в системе обработки осадка. В будущем Водоканал планирует максимально использовать энергетический потенциал осадка, поэтому модернизированные процессы его обработки должны быть в первую очередь ориентированы на производство энергии, например на выработку биогаза.

Обработка осадка с целью выработки энергии повлечет за собой снижение содержания органических веществ в обезвоженном осадке, потому для его сжигания потребуется больше природного газа. С другой стороны, объем осадка, поступающего на сжигание, станет меньше. Таким образом, второй целью будущего процесса обработки осадка является оптимизация энергетического баланса.

Предварительная обработка осадка влияет на процесс сбраживания и повышает способность органического вещества, в частности клетчатки, к преобразованию в биогаз. Для этого применяются такие методы, как подача пара под давлением, дополнительный нагрев, разрушение клеток физическим и электрическим способом. С точки зрения воздействия на обработку осадка каждая технология имеет свои особенности. Некоторые методы хорошо зарекомендовали себя на многих объектах в различных странах мира, а другие еще только прошли промышленные испытания. У каждой технологии есть свои преимущества и недостатки, но все они позволяют увеличить выработку биогаза из органического вещества и, соответственно, повысить показатели производства энергии и уменьшить массу твердых веществ, подлежащих утилизации. Определены следующие варианты передовых технологий: термический гидролиз, термофильное сбраживание, мезофильное сбраживание.

Имея сведения о промышленных установках, результаты обследования сооружений и изучения собранных материалов, специалисты Водоканала выбрали для дальнейшего рассмотрения и сопоставления, следующие технологии: термический гидролиз перед сбраживанием в мезофильных условиях и анаэробное сбраживание в мезофильных или термофильных условиях.

На рассмотрение были представлены следующие технологические процессы:

Cambi - термический гидролиз перед сбраживанием;

Veolia - процесс термического гидролиза между двумя ступенями сбраживания;

PWT - процесс мезофильного сбраживания.

Процесс *Cambi*, или термический гидролиз

Проектное решение основано на использовании процесса термического гидролиза Cambi с последующим анаэробным сбраживанием, обезвоживанием и сжиганием осадка. Данный процесс имеет следующие отличия от традиционных технологий сбраживания:

подача осадка на термогидролиз и далее на сбраживание после предварительного обезвоживания позволяет уменьшить объем метантенков и, как следствие, уменьшить инвестиционные затраты. Снижение вязкости осадка после термического гидролиза обеспечивает сокращение потребления электрической энергии на его перемешивание:

осадок лучше сбраживается за счет повышения эффективности разложения органических веществ осадка. Увеличивается выход биогаза благодаря увеличению содержания в осадке разлагаемой органики;

более высокая эффективность обезвоживания осадка, обработанного по технологии **Cambi**;

уменьшение массы кека за счет более эффективных процессов сбраживания органических веществ и повышенного содержания сухого вещества;

стабильное сбраживание с уменьшением содержания H_2S в биогазе и слабым риском образования пены.

При использовании технологии **Cambi** происходит гидролиз осадка с его превращением в жидкий продукт, более пригодный для сбраживания. В результате тепловой обработки осадка снижаются его гидрофильные свойства, а эффективность обезвоживания возрастает.

Технологическая схема **Cambi** состоит из реакторов-гидролизеров периодического действия. Однако в сочетании с измельчителем и расширителем весь процесс проходит непрерывно. Обезвоженный осадок постоянно подается в измельчитель, а осадок после гидролиза непрерывно поступает из расширителя в метантенки. Предварительно обезвоженный осадок, который поступает в реактор-гидролизер, нагревается струями пара приблизительно до 165 °С. При такой температуре и давлении 6 бар происходит гидролиз органических веществ с образованием растворимых соединений. Затем давление снижается, и осадок под давлением пара выталкивается из реактора в расширитель. Вследствие быстрого падения давления происходит «паровой взрыв» клеток и волокон осадка. Образовавшийся пар возвращается в измельчитель и используется для предварительного подогрева поступающего холодного осадка. При этом минимизируется расход свежего пара, и достигается оптимальный энергетический баланс.

Таким образом, процесс **Cambi** представляет собой комбинацию двух технологий разложения осадка: термический гидролиз и паровой взрыв, при котором происходит разрушение клеток и снижение вязкости. Кроме того, процессы нагрева и охлаждения осадка проходят с прямой теплопередачей с использованием пара. При этом не применяются теплообменники, соответственно отсутствует риск их засорения, абразивного износа или коррозии.

Технология **Cambi** для Центральной и Северной станций аэрации включает следующие стадии, (Рис. 2):

предварительное механическое обезвоживание уплотненного осадка;

термический гидролиз осадка, в процессе которого вязкий осадок превращается в легко сбраживаемый продукт с пониженной вязкостью;

загрузка гидролизованного осадка с содержанием сухого вещества 10% в метантенки с временем сбраживания 18 суток. При техническом обслуживании одного из метантенков без остановки процесса время сбраживания может быть сокращено до 12 суток;

окончательное обезвоживание сброженного осадка. Как правило, обезвоживающее оборудование способно обрабатывать большее количество осадка после обработки его по технологии **Cambi**, чем при работе с обычным осадком.

Для снижения потребления пара загрузка системы **Cambi** проводится при высокой концентрации сухого вещества, с циркуляцией пара внутри системы. Для дальнейшей оптимизации потребления пара можно организовать подогрев осадка перед загрузкой в обезвоживающее оборудование низкотемпературным теплом (например, до 35 °C). Перед сбраживанием температура гидролизованного осадка (~ 102 °C) снижается до требуемого уровня (~ 37 °C). Биогаз из метантенков используется для выработки электроэнергии. Для этого необходимы установки для совместной выработки тепловой и электрической энергии. Тепловую энергию можно утилизировать (при помощи одной низкотемпературной или двух ступеней высокой/низкой температуры) для отопления зданий на территории очистных сооружений. Таким образом можно уменьшить чистое потребление энергии на сооружениях с усовершенствованным процессом сбраживания.

Процесс *Veolia*

Предлагаемое решение направлено на оптимизацию использования энергетического потенциала осадка сточных вод. Рассмотрим технологическую схему **Veolia** для Северной станции аэрации (Рис. 3)

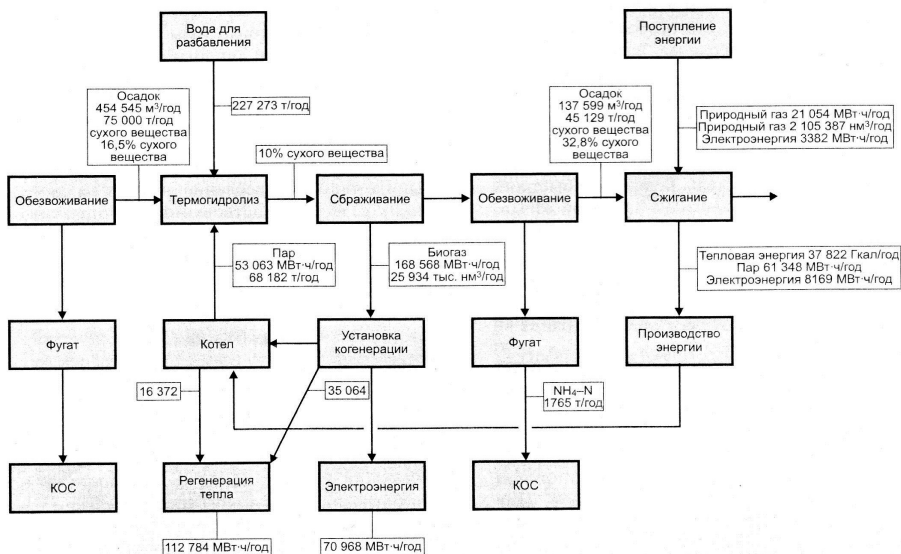
Технология **Veolia** учитывает особенности существующей инфраструктуры (построенные недавно печи для сжигания осадка, паровая турбина). С учетом этого предложена двухступенчатая технология сбраживания с промежуточным термическим гидролизом предварительно сброженного осадка и последующим его сжиганием. Объем полученного биогаза в такой системе позволяет использовать газовую турбину и ревизовать следующие преимущества:

- наличие оборудования и низкие затраты на техническое обслуживание;
- производство пара высокого давления для подачи на паровую турбину;
- гибкость производства энергии в системе сжигания.
- Оптимальная утилизация тепловой энергии обеспечивается следующими системами:
- низкотемпературная водяная система (отбирает низкопотенциальную теплоту от печи, сушилки и термического гидролиза для подогрева осадка перед подачей его в метантенки);
- сеть горячей воды с температурой 70/100 °C (отбирает тепло от системы охлаждения термического гидролиза и котла-утилизатора на

газовой турбине). Эта сеть подает тепло в метантенки и внешним потребителям;

- паровая сеть среднего (10 бар) давления (утилизует тепло от котла-утилизатора для нужд термического гидролиза);
- сеть пара высокого давления (от котла-утилизатора и установки сжигания).

Рисунок 2. Технологические схемы процесса *Cambi* для станции аэрации.



Предлагаемый процесс сбраживания включает три основных этапа:

традиционный процесс термофильного сбраживания;

термический гидролиз сброженного осадка после обезвоживания;

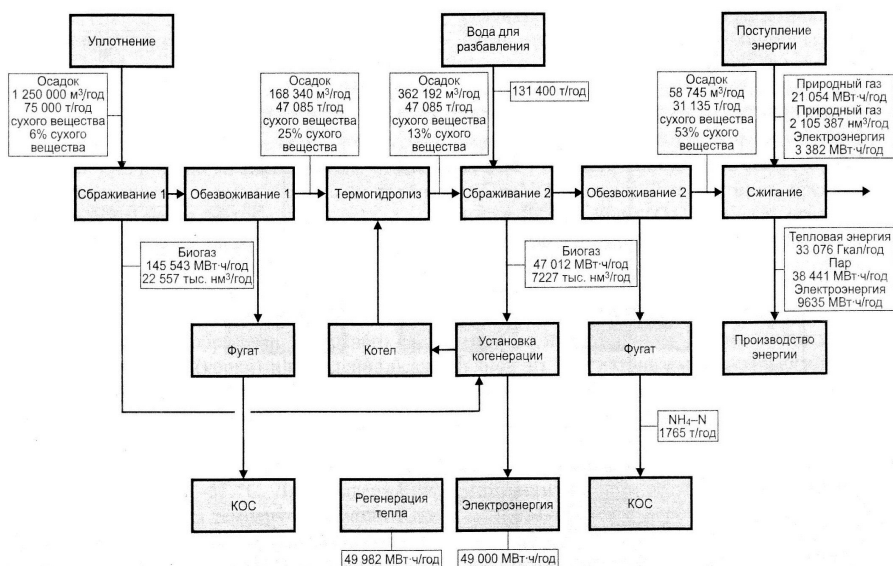
мезофильное сбраживание гидролизованного осадка высокой концентрации (около 130 г/дм³).

Главным преимуществом технологии *Veolia* является высокая эффективность производства биогаза и уменьшение объема метантенков благодаря использованию термофильного процесса на первом этапе и высокой концентрации осадка на втором. Для минимизации размеров метантенков предложено использовать уплотнители, после которых концентрация загружаемого в метантенки осадка возрастет до 60 г/дм³. Повышенное потребление тепла для термофильного сбраживания компенсируется рекуперацией тепла фугата после установок обезвоживания. Для обезвоживания осадка предлагается использовать имеющееся оборудование.

Завод сжигания осадка на Северной станции аэрации введен в эксплуатацию в 2007 г. В технологической схеме *Veolia* предлагается использовать существующее оборудование станции для обезвоживания (после первого этапа сбраживания), печи и паровую турбину.

Содержание органических веществ в осадке после сбраживания и обезвоживания не обеспечивает автотермический процесс горения.

Рисунок 3. Технологическая схема процесса *Veolia* на Северной станции аэрации.



Для уменьшения потребления природного газа и обеспечения достаточной теплотворной способности для горения в автотермическом режиме намечено использовать сушилку (на схеме не показана), чтобы снизить содержание влаги в осадке после сбраживания и обезвоживания. Для улучшения эксплуатационных показателей системы рекуперации тепла (выработки пара) необходимо модифицировать две существующие печи.

Большая часть биогаза будет использоваться 1 газовой турбиной, а остальной объем поступит в камеру дожигания. Пар высокого давления из котла-утилизатора смешивается с паром из печи и поступает на ступень высокого давления газовой турбины (используется с противодавлением). Тепло дымовых газов газовой турбины, которые немного подогреваются в камере дожигания, утилизируется в котле. Котел вырабатывает пар высокого давления (32 бара, 450 °С) для использования в паровой турбине, насыщенный пар среднего давления (10 бар) для применения в процессе термического гидролиза, а также горячую воду (70/100 °С).

Процесс PWT

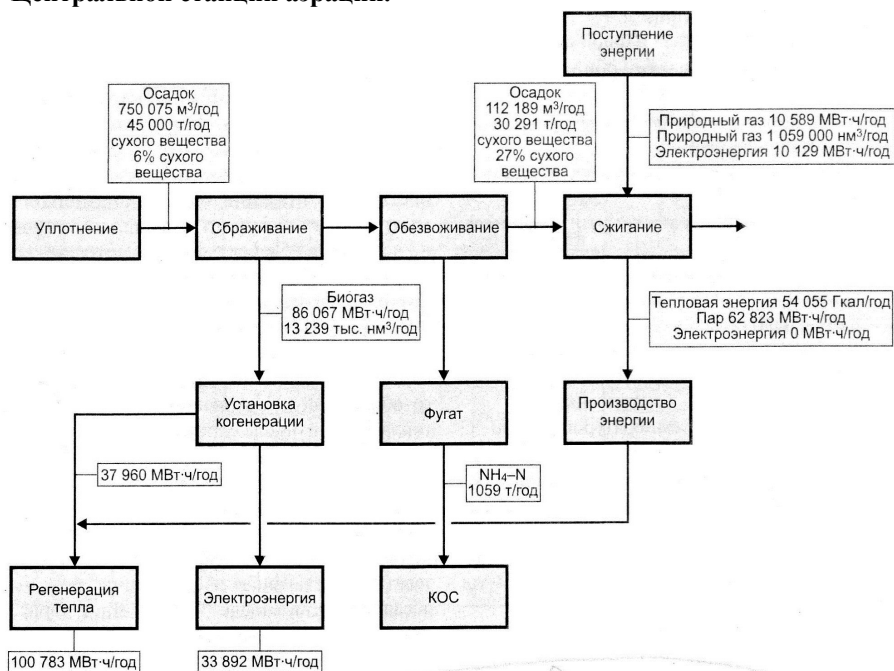
Процесс **PWT** включает обычную технологию мезофильного сбраживания (Рис. 4). Предлагается организовать совместную стабилизацию в метантенках активного ила после механического обезвоживания и осадка из первичных отстойников после гравитационного уплотнения. Резервуары оборудуются газосборными куполами, соплами для подачи газа, газосмесительными компрессорами, циркуляционными насосами для осадка, теплообменниками, соединительными трубопроводами и т. д.

В этой системе часть образующегося биогаза подвергается сжатию и по газовым трубкам нагнетается в нижнюю часть метантенка. Система подачи газа обеспечивает полное перемешивание, не допуская образования верхнего слоя веществ (корки) и осаждения осадка. Для загрузки метантенка используются циркуляционные насосы в таком режиме, чтобы на теплообменники поступала смесь старого и свежего осадка. Метантенки работают в мезофильном режиме при 35-37 °С. Для поддержания требуемого диапазона температур в метантенке предусмотрены трубчатые теплообменники (осадок/вода), установленные во вспомогательном здании, вместе с циркуляционными насосами осадка. Утилизация биогаза из метантенков будет организована при помощи установок для совместной выработки тепловой и электрической энергии.

С энергетической точки зрения, использование процесса **PWT** в Центральной и Северной станциях аэрации нецелесообразно в связи с повышенным энергопотреблением этого процесса. Технологии **Cambi** и **Veolia** показывают приблизительно одинаковые энергетические балансы (тепло + электроэнергия), однако процесс Cambi эффективнее с точки зрения чистой выработки энергии (тепловой и электрической).

Окончательный выбор оптимальной технологической схемы можно будет сделать после проведения плотных испытаний по термогидролизу и анаэробному сбраживанию осадков сточных вод Санкт-Петербурга. По их результатам будет разработан уточненный энергетический баланс канализационных очистных сооружений города.

Рисунок 4. Технологические схемы процесса ЗЦЕ на Центральной станции аэрации.



Наиболее перспективными в области использования вторичных энергетических ресурсов при обработке осадков сточных вод являются технологии термогидролиза, предусматривающие сооружения по интенсификации процесса образования биогаза: ультразвуковые или химические дезинтеграторы. В области разработки и реализации проектов по использованию альтернативных источников энергии и утилизации отходов (осадков) на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства наиболее технологичными и экономически обоснованными стали решения, предложенные европейскими компаниями **PWT** (Германия), **Veolia** (OTV, Франция) и **Cambi** (Норвегия). В технологиях, предложенных фирмами **Violia** (OTY) и **Cambi**, предполагается использование процесса термогидролиза, который увеличивает объем получаемого биогаза на 15-25%.

Реализация проекта по использованию энергетического потенциала осадка сточных вод в одной из рассматриваемых технологий позволит ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» получить уникальный опыт системного подхода к решению проблемы утилизации осадка. По сути, речь идет о превращении проблемы в новые возможности и новые ресурсы.

2.4. Биогаз - ресурс возобновляемой энергии.

Жители Стокгольма ежедневно совершают почти четыре миллиона поездок на автомобилях. И как во всех больших юродах, именно автомобиль является основным источником загрязнения воздуха. На долю автотранспорта приходится до 80 процентов от общих объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. [23]

Что бы стабилизировать и в перспективе улучшить экологическую ситуацию муниципалитет шведской столицы принял политическое «решение о производстве и использовании в качестве энергоносителя и моторного топлива биогаза. Автобус, работающий на этом виде топлива, выбрасывает в атмосферу за год на 1,2 т меньше оксидов азота и на 9 т меньше двуокиси углерода.

В 1998 году швейцарские ученые подтвердили выводы шведских коллег. По экологическим характеристикам биогаз на 75 % чище дизельного топлива и на 50 % чище бензина. Токсичность биогаза для человека на 60 % ниже. Продукты его сгорания практически не содержат канцерогенных веществ. Влияние отработавших газов двигателей, работающих на биогазе, на разрушение озонового слоя, на 60 - 80 % ниже, чем у нефтяных видов топлива.

Выход биогаза из 1 т. Сухого вещества растительных отходов и сорняков для различных растительных масс составляет: для соломы пшеничной - 342; стеблей кукурузы - 420; подсолнечниковой шелухи - 300; ботвы картофеля - 420; сорной растительности - 500 м3. При этом коэффициент превращения органических веществ в биогаз достигает 0,9.

Биогаз с высокой эффективностью может трансформироваться в другие виды энергии. КПД его использования в качестве топлива на газогенераторах составляет до 83%.

В сырьевом биогазе содержится в среднем 65 % метана и 35 % CO₂, влаги и других примесей. Также как и природный газ, т.е. газ, извлекаемый из недр, перед применением в двигателе внутреннего сгорания биогаз подвергается обогащению (до уровня содержания метана в газе 95 %), очистке, осушке и компримированию. Энергетический эквивалент газа составляет 9-10 кВтч/куб. м.

Физико-химические и экологические свойства очищенного биогаза и природного газа практически идентичны, поэтому для них применяется одна и та же топливная аппаратура. Уровень шума двигателя, работающего на биогазе, на 5 - 10 dB (A) ниже, чем у дизельного аналога. Есть только одно различие между природным газом и биогазом: при сгорании последнего в атмосферу выбрасывается точно такое же количество CO₂, которое было из него удалено при переработке.

В 1996 году универсальной (бензин/биогаз) топливной аппаратурой были оборудованы первые 20 автобусов в Стокгольме. В конце 1997 года фирма "Скания" разработала ПАГЗ для заправки автомобилей. Он оборудован 30 баллонами с рабочим давлением 250 атмосфер и общей вместимостью 1600 кубических метров.

Баллоны расположены на двух прицепах. В качестве топлива ПАГЗ также использует биогаз. Дальность его пробега на одной заправке - 300 км.

С начала 2000 года в Стокгольме на биогазе работают уже более 300 автомобилей, заправку которых обеспечивают четыре "спутниковых" станции. Всего власти Стокгольма планируют перевести на этот вид газа 3000 столичных автомобилей. В программе принимают непосредственное участие компании Вольво, Фольксваген и БМВ. В рамках городской экологической программы Муниципалитет Стокгольма принял решение о переводе всех мусоросборочных автомобилей на биогаз. Топливо будут получать при переработке органических отходов, собираемых в столичных ресторанах и столовых больших предприятий.

В Евле биогаз применяется для производства тепла, электричества и в качестве топлива на 10 автобусах Неоплан с газовыми и гибридными силовыми установками. В Трольхеттане на биогазе, получаемом при переработке отходов мясной и рыбной промышленности, работают 15 автобусов. В городе Упсала 31 автобус Неоплан, 6 легковых автомобилей и 1 мусоросборочная машина работают на биогазе, получаемом из органических отходов и навоза.

Во Франции в Туре с 1994 года работает установка получения и компримирования биогаза, обслуживающая 30 легковых автомобилей (Рено Клио, Пежо-106). В Лиле на этом топливе работают 100 автобусов, а в Тулузе – 6.

В кантоне Цюрих, Швейцария с 1997 года биогаз получают из органических отходов. Правительство страны ограничивает отпускную цену этого вида топлива на уровне 70 процентов от стоимости дизельного топлива.

В Рейкьявике, Исландия с загородной свалки органических отходов собирают до 500 куб. м. газа в час. После очистки, обогащения и компримирования газ, содержащий до 98 % метана, заправляется в транспортные контейнеры до давления 260 атмосфер. Контейнеры перевозят к потребителю и заправляют газом автомобили.

Стоимость 1 кубометра очищенного биогаза на 1,11 Евро ниже стоимости бензина. Общая потребность Рейкьявика в автомобилях на биогазе равна 1000 единиц.

В Китае уже в 1999 г. действовали 7 млн. малых установок получения биогаза. Еще в начале 70-х годов тогдашнее руководство КНР предписало совершить „большой биогазовый скачок”. В результате свыше 60 процентов всего автобусного парка страны, в том числе около 80 % в сельской местности ныне работают на биогазе. Между прочим, производство биогазовых и двухтопливных двигателей в КНР было засекречено до конца 80-х. Зато сегодня Китай их экспортирует, как и сам биогаз, более чем в 20 стран.

Объемы годовой газодобычи и утилизации свалочного газа в мире составляет примерно 1,2 млрд. куб.м в год, что эквивалентно 429 тыс. тонн метана

или 1% его эмиссии. Таким образом, объем извлекаемого газа ничтожен по сравнению с объемом его образования. Это открывает широкие возможности для развития биогаза как отрасли в целом.

В рамках ЕЭК ООН разработана и реализуется программа ZEUS, направленная на создание транспортных средств с нулевым и сверхнизким содержанием загрязняющих веществ в отработавших газах. Получение и применение биогаза является составной частью этой программы, и на реализацию проектов получения и применения этого вида топлива Европейское Сообщество выделяет значительные суммы.

Глава 3.

Технологии и сооружения направленные на уменьшение выхода избыточного активного ила (ИАИ)

Проте земля - не товар і продажу не підлягає. Згідно зі „Словником української мови” (К. 1979, там X, с.159) „товар- це продукт праці, що призначений для обміну (торгівлі) ” Землі України не є продуктом праці людини. Віруючи люди знають, що Земля створена Всевишнім. Це саме ствержує і наука, називаючи Природу творцем Землі і всього на ній.

Цілість громад і їхніх земель повинні бути збереженими, як і повинні оберігати водні об'єкти (ріки, озера тощо), без яких немислима водоносна система України, Землі, а від так - і життя на Землі

||Українське Слово,№27(3638), 3-9 липня 2013р.||

3.1. Технологии, применяемые в обработке избыточного ила.

Разнообразие и увеличение количества подлежащих обработке осадков сточных вод **(по оценкам экспертов, сегодня коммунальные очистные сооружения во всем мире производят ежегодно более 200 млн. т осадка)**, из которых на избыточный активный ил приходится 60-80% или 120-160 млн.т.) в сочетании с неопределенностью и ограничениями законодательного и экономического характера все более усложняют задачу выбора технологий их обработки и утилизации [25,26,27,28]

Но даже среди сторонников использования осадков в сельском хозяйстве все чаще появляются требования предварительной их обработки, например, известкования и глубокой термической сушки, что позволяет повысить качество поставляемого потребителям продукта или упростить переход к другим способам его утилизации.

В европейских странах большую роль в решении проблемы осадков сточных вод играет общественное мнение и движение в защиту окружающей среды. В странах, где основное количество электроэнергии вырабатывается станциями на угле (как, например, в Германии), технологии сжигания осадков уделяется все большее внимание, поскольку теплотворная способность осадков близка к теплотворной способности «бедных» углей.

Технологии с разложением органических веществ

Наиболее распространенный способ минерализации ИАИ - **прямое сжигание**. Эта технология позволяет из 1 т пастообразного загнивающего осадка получать 100 кг минеральной золы. При этом решаются две главные задачи - минимизация объема ИАИ и их полная стабилизация. Технология применяется главным образом на крупных очистных сооружениях и реализуется в печах с псевдооживленным слоем, снабженных системами многоступенчатой рекуперации тепловой энергии и глубокой очистки образующихся газов, что позволяет выполнить самые жесткие экологические требования.

Совместное сжигание ИАИ в печах для переработки бытовых отходов применяется в тех случаях, когда мощность очистных сооружений недостаточна для экономически обоснованного прямого сжигания. Этот метод позволяет оптимизировать общие затраты на решение экологической задачи в достаточно крупных населенных пунктах. В этом случае ИАИ в печь подаются в пастообразной или высушенной форме.

Жидкофазное окисление применяется при обработке сгущенного (но еще жидкого):

ИАИ реализуется при температуре 200-300 °С и давлении 20-100 бар (для поддержания реакционной среды в жидком состоянии). Последующее механическое обезвоживание получаемой массы происходит более эффективно по причине сниженного содержания твердой фазы, которая в основном минерализована. В противоположность сжиганию эта технология не обеспечивает полного окисления, и в получаемом жидком потоке еще остается растворенная ХПК и аммиачный азот, что требует дополнительной обработки до его возврата на вход в очистные сооружения. Применение кислорода в качестве окислителя позволяет значительно снизить поток отводимого газа, который к тому же легко очищается перед выбросом в атмосферу.

Пиролиз или газификация являются технологиями термического преобразования органической массы ИАИ либо при полном отсутствии кислорода, либо при его присутствии в количествах, несопоставимо меньших стехиометрически необходимых для сжигания. В таком случае, с одной стороны, получают синтетический горючий газ, а с другой - остаток, называемый иногда полукоксом, который содержит не только изначально присутствовавшую в осадке минеральную часть, но и значительное количество углерода в неорганической форме. Такой, обработке подвергается ИАИ после его предварительного обезвоживания термической сушкой, для которой можно использовать упомянутый выше синтетический горючий газ. Именно поэтому на крупных очистных сооружениях целесообразно применение комплексных установок типа «термическая сушка - газификация - когенерация» (одна из установок такого типа уже несколько лет работает в Великобритании).

Технологии с сохранением органических веществ

Цель этих технологий - сохранение содержащихся в осадках органических веществ, которые затем можно успешно использовать в сельском хозяйстве. Существуют три основные технологии такого типа.

Известкование предусматривает введение негашеной извести в ИАИ, прошедшие предварительное обезвоживание на ленточных фильтр-прессах, центрифугах или даже на обычных камерных фильтр-прессах. Процесс гашения (водой) молекул извести CaO , содержащейся в ИАИ, приводит к образованию гашеной извести Ca(OH)_2 и, следовательно, к снижению влажности получаемой массы (чему также способствует экзотермический характер реакции гашения извести). В результате нагрева и повышения величины pH происходит разложение патогенных микроорганизмов, а внесение кальция делает получаемую массу более привлекательной для использования в сельском хозяйстве. Степень стабилизации ИАИ и ее устойчивость зависят от дозы вводимой извести и длительности хранения получаемой массы.

Эта технология широко распространена во Франции, поскольку даже если использование получаемой массы в сельском хозяйстве, оказывается по тем или иным причинам невозможным, введение повышенных доз извести позволяет получать массу с содержанием сухих веществ порядка 30%, что приемлемо для ее захоронения по второму классу опасности.

Компостирование пастообразных ИАИ - это технология аэробной биологической ферментации, обеспечивающая преобразование органических веществ в гумус. В результате такой обработки получают сухую стабилизированную массу без неприятного запаха, которую можно легко перемещать и (или) хранить.

Многочисленные технологии компостирования различаются главным образом формой реакторов способом аэрирования, устройствами для перемещения масс в процессе компостирования и уровнем автоматизации. Некоторые из них обеспечивают высокую степень разложения патогенных микроорганизмов. Например, во Франции применение этих технологий обеспечивает соблюдение требований законодательства по размещению осадков на сельскохозяйственных полях, хотя компостируемые осадки рассматриваются пока как отходы, а не как удобрение.

Общим элементом технологий компостирования является необходимость внесения в обрабатываемый ИАИ структурирующей углеродной добавки, наличие и стоимость которой становится важным фактором при проектировании. Применение достаточно грубой углеродной добавки, которая может быть частично извлечена из компостируемого ИАИ просеиванием, позволяет снизить ее расход и одновременно снизить массу утилизируемого компоста. В таком случае компостирование выступает в качестве способа биологической сушки ИАИ. Кроме размещения на

сельскохозяйственных полях получаемый компост может использоваться для проведения ландшафтных работ и формирования зон растительности. Наконец, с учетом достигнутого содержания сухих веществ и объема полученной массы компост может быть направлен на захоронение или даже на сжигание, например в случаях, когда по ряду критериев он не может быть использован в сельском хозяйстве.

Термическая сушка ИАИ осуществляется в самых разнообразных аппаратах, которые различаются главным образом по способу передачи тепла (прямое или косвенное нагревание). Достижимое повышенное содержание сухих веществ и существенное сокращение объема сопровождаются высокой степенью стабилизации получаемой массы за счет блокирования деятельности микроорганизмов, вызывающих процессы загнивания. Благодаря оптимальному подбору времени пребывания ИАИ в аппарате и поддерживаемой в нем температуры удастся обеспечить полное разложение патогенных микроорганизмов, что дает возможность беспрепятственного использования высушенного ИАИ в сельском хозяйстве. Высушенный ИАИ может быть получен в удобной для пользователя форме: в виде порошка, гранул различных размеров и форм, окатышей и даже кирпичей. При этом возможность изменения формы высушенного осадка обеспечивает различные направления его утилизации. При проектировании установок термической сушки ИАИ следует особое внимание обращать на риски, связанные с высокой вязкостью обрабатываемого ИАИ на промежуточных стадиях процесса сушки и появлением мелких органических частиц в теплой воздушной среде.

Технологии сокращения количества подлежащих обработке ИАИ.

Мезофильное анаэробное сбраживание - биологический процесс разложения органических веществ в жидком ИАИ, который протекает в течение примерно 20 суток в закрытых реакторах (метантенках). Жидкий ИАИ тщательно перемешивают при температуре, близкой к 35 °С, в анаэробных условиях. Обычно анаэробному сбраживанию подвергаются первичные или смешанные осадки с содержанием сухих веществ 40-80 кг/м³. В силу длительного времени обработки осадков анаэробное сбраживание придает гибкость эксплуатации всей технологической линии и способствует их гомогенизации (например, когда очистные сооружения, кроме биологической обработки сточных вод в сухой период, включают еще и третичную очистку или физико-химическую обработку дождевых вод).

Анаэробное сбраживание является лишь, одной из стадий обработки ИАИ, которая происходит до их обезвоживания и обеспечивает:

- значительное снижение содержания органических веществ в ИАИ и, следовательно, сокращение количества сухих веществ в получаемой массе, направляемой затем на обезвоживание;

- получение стабилизированных и частично обеззараженного ИАИ после обезвоживания, что способствует их долгому хранению и использованию в сельском хозяйстве;
- производство биогаза, состоящего из метана (65-70%) и углекислого газа (25-35%); удельное количество получаемого биогаза составляет примерно 0,9-1,1 Нм³/кг разложенных органических веществ, а его теплотворная способность близка к $5,5 \times 10^6$ кал/ДН м³).

Часть биогаза обычно используют непосредственно на месте его получения для предварительного подогрева подаваемых в метантенки свежего ИАИ для поддержания температуры в нем, а излишки биогаза утилизируются в производстве электроэнергии. Весьма привлекательным техническим решением является использование биогаза в качестве горючего в установках термической сушки сброженных осадков, особенно когда они снабжены системой простой рекуперации тепла конденсации паров, выходящих из сушильной установки. В этом случае получаемая экономия эксплуатационных затрат полностью окупает дополнительные инвестиции в сбраживание ИАИ. Во Франции в отличие от других стран Европы метановое сбраживание осадков применяется только на крупных очистных сооружениях.

В настоящее время появляются технологии, которые встраиваются в технологическую линию обработки сточных вод и обеспечивают существенное сокращение объема подлежащих обработке ИАИ. В качестве примера можно привести разработанные компанией «Дегремон» способы Biolysis® О и Biolysis® Е, которые позволяют снизить объем осадков до 80% (а в некоторых благоприятных ситуациях и до 100%).

Современные технологии обработки сточных вод с использованием мембранных биореакторов (например BRM® и Ultrafor®) или прямой мезотанизации сточных (главным образом промышленных) вод позволяют существенно сократить объем осадков в сравнении с традиционными сооружениями с применением активного ила в аэробных условиях. [24,29]

Стоимость обработки осадков

В зависимости от мощности очистных сооружений и конкретного вида осадков в определенных экономических условиях можно сравнить общие затраты на строительство, эксплуатацию и модернизацию различных технологических линий обработки осадков, начиная от отвода до утилизации или захоронения. Например, затраты на обработку ИАИ от сооружений очистки городских сточных вод в режиме продленной аэрации могут составлять от 335 до 760 евро/т сухого вещества, что применимо к сооружениям мощностью 10-400 тыс. экв.-жителей. Это составляет примерно 7,6- 16,7 евро/год на одного экв.-жителя, или 0,1-0,3 евро/м³ очищенной воды.

Мощность очистных сооружений является самым важным фактором, влияющим на подобную оценку. При этом для очистных сооружений одинаковой мощности стоимость различных технологических линий изменяется лишь на 25-30% средней величины. Выбор между различными технологиями обработки осадков весьма не прост, но важность и актуальность задачи вынуждают искать и принимать оперативные, заранее продуманные технические решения. С учетом накопленного опыта наиболее выигрышный подход должен быть основан на логике, специфике и глобальном видении проблемы.

Логика состоит в соблюдении определенной последовательности действий: сначала точно определяется вид подлежащих обработке осадков, затем анализируется их возможное в местных условиях конечное назначение (в форме соответствующих технических, законодательных и экономических требований и условий), и лишь потом определяется технологическая линия и конкретные способы обработки осадков с выбором соответствующих технических средств.

Специфика проявляется в детальном рассмотрении всех местных требований и условий (например, затрат на тот или иной способ вывоза осадков, наличие и стоимость закупки необходимых вспомогательных материалов для компостирования, перечня наиболее чувствительных экологических параметров и т. д.).

Глобальное видение проблемы включает прежде всего понимание того, что обработка сточных вод и обработка осадков неразделимы и тесно связаны друг с другом. Действительно, не только происхождение сточных вод, применяемые технологии обработки и возможное их совершенствование оказывают существенное влияние на образование подлежащих обработке осадков, но и сама обработка осадков приводит к формированию потоков загрязненных вод, часто рециркулируемых на вход в очистные сооружения. Кроме того, некоторые технологии (термическая сушка, жидкофазное окисление и иногда сжигание) предусматривают использование очищенной сточной воды для нужд охлаждения и (или) промывки элементов сооружений. Такой подход, основанный на глубоком знании технологий обработки сточных вод и образующихся осадков, обеспечивает оптимальный выбор технологической линии обработки осадков для конкретного случая, а также способов и технических средств (установок и аппаратов) для ее воплощения.

Практическая реализация соответствующих очистных сооружений невозможна без тесного сотрудничества всех потенциальных участников этого процесса — инженеров-консультантов, генеральных подрядчиков, опытных проектировщиков, конструкторов, будущих эксплуатационников и администраторов.

Решая задачу обработки осадков, необходимо учитывать следующие факторы: характер осадков, их конечное назначение, способ обработки осадков и т. п.

Эти факторы специфичны для каждого конкретного случая и глобальны в плане учета теснейшей связи технологий очистки сточных вод и технологий обработки осадков.

3.2 Утилизация избыточных активных илов.

В настоящее время в мире для конечной очистки сточных вод широко распространен биологический метод с использованием активного ила. При биологической очистке сточных вод промышленных предприятий, содержащих тяжелые металлы (десятки миллиграммов в одном литре) или смеси таких стоков с бытовыми, происходит концентрирование тяжелых металлов в микроорганизмах активного ила. [30]

До настоящего момента, вопрос об утилизации избыточного активного ила (ИАИ) полностью не решен, в первую очередь из-за загрязненности его тяжелыми металлами. Если тяжелые металлы будут извлечены из илов, то последние можно будет использовать как ценное удобрение в сельском хозяйстве, белково-витаминную подкормку для животных и птиц, сырье для получения белков и аминокислот, технического витамина B12 для комбикормов, а также при производстве строительных материалов, асфальта, химических продуктов и т.д.

Проблема обработки осадков и, в частности, поиск способов извлечения тяжелых металлов из концентрированных отходов актуальна для всех стран. В настоящее время существуют три способа:

- термический (автоклавный гидролиз, сжигание);
- ионообменный с последующей сильнокислотной обработкой;
- химическое выщелачивание концентрированными кислотами и щелочами.

Каждый из этих методов имеет достоинства и недостатки. Еще в 1990 г. был сделан вывод о перспективности термического сжигания осадков городских сточных вод, однако он не является экологически безопасным, поскольку требуется очистка выбрасываемых газов, возникают трудности с дополнительной очисткой образующихся в системе промывки газов суспензий.

В России для применения избыточного активного ила (ИАИ). В сельском хозяйстве требуется его соответствие нормам Сан-ПиН 2. 1.7.753-96. Согласно этим нормам содержание тяжелых металлов в сухом веществе должно быть следующим, мг/кг, не более: 1000 Pb, 20 As, 15 Hg, 30 Cd, 400 Ni, 1200 Cr, 2000 Mn, 4000 Zn, 1500 Cu.

Для использования, избыточного активного ила (ИАИ) в сельском хозяйстве стран ЕС содержание тяжелых металлов в сухом веществе не должно превышать следующих значений, мг/кг: 100 Ni, 100 Pb, 300 Cr, 600 Cu, 1500 Zn, 1 Hg и т.д.

При биологической очистке сточных вод промышленных предприятий в избыточном активном иле могут накапливаться тяжелые металлы, например, в следующем количестве, мг/кг сухого вещества, не более: 2000 Cu, 5000 Zn, 1800 Ni,

1600 Pb, 20 Hg. При этом, чем больше загрязнение воды, тем выше концентрация тяжелых металлов в иле.

Авторы статьи [30] считают, что для извлечения тяжелых металлов из избыточного ИАИ перспективно изменение направленности протекающих процессов в системе, в частности проведение замещения в микроорганизмах ила одних элементов на другие (Пат. 2133231 6С 02 F 11/14 РФ).

Экспериментальные исследования процесса извлечения тяжелых металлов из образцов реального активного ила очистных сооружений Великого Новгорода подтвердили правильность предложенной гипотезы.

Для экспериментов был использован ИАИ после вторичных отстойников влажностью 98 - 99 %. Концентрация металлов в сухом веществе, мг/кг: 1710 Zn, 810 Cu, 120 Ni, 120 Pb, 350 Cr; в водной фазе, мг/л: 1,8 Zn, 5,4 Cu, 3,5 Ni, 3,2 Pb, 4,1 Cr. После добавления при 20 - 25 °С к 100 г активного ила 5 - 15 г твердого реагента, содержащего кальций, и перемешивания в течение 3 - 6 ч в открытых сосудах тяжелые металлы переходят в водную фазу. Степень извлечения цинка 44 - 84, меди 28 - 62, никеля 58 - 92, свинца 92 - 99, хрома 57 - 77 %.

При использовании методов, основанных, в частности, на замещении тяжелых металлов на щелочно-земельные, в первую очередь на кальций, остаточные концентрации тяжелых металлов в сухом веществе избыточного активного ила были следующими, мг/кг: 10 - 50 Ni, 1 - 10 Pb, 80 - 150 Cr, 310 - 580 Cu, 280 - 960 Zn, т.е. активный ил отвечал требованиям, предъявляемым в странах ЕС к активному илу, предназначенному для использования в сельском хозяйстве. К тому же после введения кальция ил становится ценным органоминеральным удобрением для кислых почв, которые наиболее характерны для большинства регионов.

Разработка технологии выделения тяжелых металлов из избыточного активного ила, полученного после биологической очистки промышленных и городских сточных вод, утилизации тяжелых металлов из водной фазы, позволит использовать ил в сельском хозяйстве в качестве ценного органоминерального удобрения или сырья для биосинтеза различных продуктов.

Метод обеззараживания и детоксикации ИАИ сточных вод аминокислотными композициями с сохранением их агрохимической ценности является одним из эффективных способов повышения санитарно-гигиенической и экологической безопасности. Он открывает новые перспективы для создания безотходных и экологически безопасных технологий переработки осадков. [37].

Аминокислотные композиции для обеззараживания и детоксикации осадков сточных вод получают путем гидролиза белоксодержащего сырья по методике, разработанной Гос - НИИОХТ (г. Москва) [36]. Для антибактериальной обработки и дегельминтизации осадка используется смесь из жидкого

бактерицидного реагента (ММЭ-Т), жидкой композиции натриевых солей пептидов (Экомос-ШМ) и гидроокиси натрия. Аминокислотные композиции изготавливаются централизованно ГосНИИОХТ и поставляются потребителям в виде готового однополярного раствора в специальных емкостях. Бактерицидный реагент относится к четвертому классу опасности и разрешен для применения органами Роспотребнадзора РФ. Для наиболее эффективного использования реагента pH среды должен быть $\geq 6,8$.

В Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете разработана схема получения аминокислотных реагентов из активного ила, содержание белковых веществ в котором достигает 44% (рис.5) Аминокислотные композиции одновременно проявляют бактерицидные свойства с широким спектром действия противогельминтных реагентов, ингибиторов ферментов гниения и брожения, а также стабилизаторов-консервантов биологически нестабильных белков. Согласно данным исследований [38], дегельминтизация и полное подавление патогенной микрофлоры происходит через 45-50 минут после введения реагента. Оптимальная доза аминокислотных комплексов меди составляет 12 моль/кг осадка по сухому веществу. Внесение обеззараживающего реагента снижает удельное сопротивление осадков фильтрованию на 35-45% для активного ила, на 25-35% для сырого осадка, на 10-15% для осадка, сброженного в термофильных условиях.

Была разработана технологическая схема обработки избыточного активного ила сооружений анаэробно-аэробной биохимической очистки, представленная на рис.6. Схема включает обеззараживание аминокислотным реагентом, получаемым из того же активного ила по методике ННГАСУ, обезвреживание осадка на фильтр-прессе с добавлением инертной добавки - опилок в количестве 5% объема, а также получение компоста высокого качества методом, предложенным Институтом фундаментальных проблем биологии РАН (г.Пушино Московской области) [39,40]

В соответствии с предлагаемым методом, компост получают с использованием органоминеральной композиции на основе осадков сточных вод, обезвреженных и обеззараженных реагентами на аминокислотной основе. Добавкой для приготовления компоста служат опилки и мелкая стружка, а также свежескошенная трава. Опилки и осадок (соотношение по массе примерно 0,5:1) обрабатывают препаратом «Байкал-ЭМ1», содержащим комплекс почвенных микроорганизмов:

биомолочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие бактерии, дрожжи, продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Использование препарата «Байкал-ЭМ1» при компостировании органоминеральной композиции вызвано тем, что в ней практически отсутствуют микроорганизмы, а некоторое остаточное присутствие реагента препятствует их размножению.

Рисунок 5. Схема производства аминокислотных реагентов из активного ила

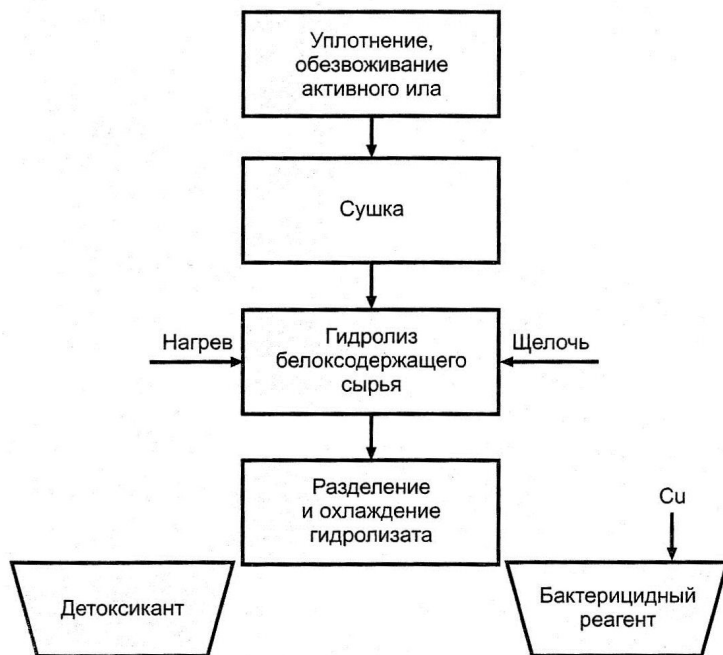
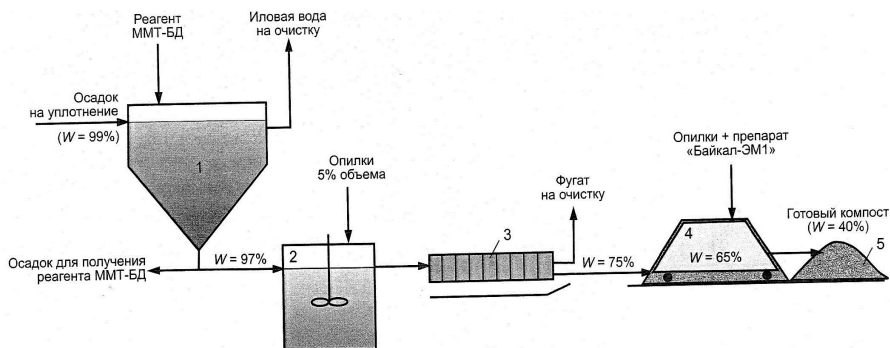


Рисунок 6. Схема комплексной обработки избыточного активного ила анаэробно-аэробных сооружений биохимической очистки сточных вод с получением высококачественного компоста



1-илоуплотнитель, 2-емкость с мешалкой, 3-фильтр-пресс, 4-площадка компостирования, 5-складирование готового компоста.

Внесение в органоминеральную композицию биоудобрения «Байкал-ЭМ1» позволяет «заселить» ее активной почвенной непатогенной микрофлорой, что способствует активным микробиологическим процессам, которые сопровождаются разогревом компостируемого материала. Составные части компоста тщательно перемешивают и формируют в штабель высотой 2—2,3 м. Компостирование длится два—три месяца с периодическим перемешиванием. За это время происходит разогрев компостируемой смеси до температуры выше 50 °С.

Готовый компост «ЭОС» представляет собой рыхлый субстрат с включением остатков древесной стружки влажностью 45-55%, удовлетворяет требованиям ТУ 18517689-3-03-02, является ценным удобрением и имеет следующий состав и свойства: влажность 45-55%; органическое вещество - 65%; азот - 1%; фосфор - 1,4%; калий - 0,83%; цинк - 0,09%; медь - 0,03% и другие микроэлементы; патогенные микроорганизмы, гельминты и их жизнеспособные яйца отсутствуют.

Внесение компостов на основе осадков сточных вод предприятий пищевой промышленности в почву обогащают ее органическим веществом, фосфором и азотом, гумусом и гуминовыми кислотами как главными факторами структурообразования и повышения водопрочности агрегатов почв.

Особенностью муниципальных сточных вод г.Перми является сложный химический состав: кроме хозяйственно - бытовых стоков в общую городскую систему канализования сбрасываются сточные воды промышленных предприятий. В процессе биологической очистки сточных вод образуются твердые отходы, в том числе избыточный активный ил (ИАИ), который в настоящее время после

механического обезвоживания (влажность 82-85%) складывается на иловых картах и; илонакопителях. Такой метод утилизации не отвечает современным экологическим и техническим требованиям, приводит к длительному и чаще безвозвратному отчуждению значительных земельных ресурсов и сопровождается экологическими рисками загрязнения окружающей природной среды в зоне размещения отходов. Это вызывает необходимость разработки и внедрения альтернативных методов утилизации осадков, сточных вод. [41].

Проведенный анализ условий формирования объема и состава ИАИ позволил установить, что при биохимической очистке 1000 м³ муниципальных сточных вод образуется 1600-1800 л ИАИ (влажность 98%) или 250-300л. обезвоженного ИАИ (влажность 85%).

Основные физико-химические характеристики и химический состав образцов ИАИ, образующегося при очистке муниципальных сточных вод, представлены в таблице 5.

Проведенные исследования показали, что для наиболее полного использования энергетического потенциала ИАИ и для создания энергосберегающих технологий их утилизации экономически целесообразно применение низкотемпературного пиролиза ИАИ.

Установлены технологические параметры процесса сушки и пиролиза ИАИ: стадию сушки необходимо осуществлять при температуре 150°C - 200 °C с улавливанием низкокипящих органических веществ; пиролиз ИАИ - при температуре 450-500°C в течение 30 мин. Образующийся пиролизный газ и конденсат может быть вторично использован при проведении сушки и для поддержания необходимой температуры в печи.

При сушке и пиролизе 1 т обезвоженного ИАИ с влажностью 85-87% будет образовываться 70-80 кг твердого остатка, представляющего собой органоминеральную композицию с содержанием пироуглерода.

Определены области применения органоминеральной композиции в качестве сорбента при локальных аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, а также для глубокой доочистки сточных вод, прошедших биологическую очистку, от нефтепродуктов и органических веществ. Органоминеральная композиция может быть использованы для рекультивации и детоксикации отработанных и законсервированных иловых карт и илонакопителей.

Таблица 5 - Основные физико-химические характеристики и химический состав ИАИ, образующегося при очистке муниципальных сточных вод

Показатели	Значение показателя	Показатели	Значение показателя, мг/кг сух. обр.
Влажность, %	85 - 87,15	Содержание тяжелых металлов в валовой форме	
Массовая доля органических веществ, %	58-67	Железо	12000-15000
Массовая доля золы, %	33-42	Кадмий	11,2
Массовая доля общего азота, %	3,5-5,7	Медь	200-230
Массовая доля общего фосфора (P_2O_5), %	5,5-7,4	Марганец	900-950
pH солевой вытяжки	5,0-6,9	Мышьяк	0,6 -0,8
pH водной вытяжки	6,5-6,6	Никель	75-77
PO_4^{3-} , мг/кг	400-410	Ртуть	0,65-0,72
Хлорид-ион, мг/кг	10000-10500	Свинец	34,7
ХПК водной вытяжки (1:5), мг O_2 /л	3000-3514	Хром	305-310
Содержание серы, мг/кг	4000-4050	Цинк	700 - 800
Нефтепродукты, мг/кг	109-110	Содержание тяжелых металлов в подвижной форме	
Кремний, мг/кг,	8900- 15600	Цинк, мг/кг	516,14
Алюминий	14000 -17000	Хром, мг/кг	10,8
Кальций	7333-8257	Свинец, мг/кг	4,2
		Медь, мг/кг	6,8

3.3. Сокращение избыточного активного ила в процессе очистки сточных вод.

Предлагаемый способ уменьшения осадка может внедряться непосредственно в технологию обработки сточных вод, а не в обработку осадков, что является очень важным и перспективным процессом. [31,32,33].

Суть процесса (Рис.7) состоит в том, что избыточный активный ил подвергается окислительному воздействию озоном и это приводит к его сокращению на 40-80%, что, как следует из вышеприведенных материалов, представляет немалую величину.

В реакторах [24] под действием озона происходит разрушение одних микроорганизмов и частичное повреждение других микроорганизмов активного ила, а это в свою очередь приводит к сокращению формирования избытка активного ила. Полностью или частично разрушенные микроорганизмы активного ила могут снова направляться в аэротенки, где они будут подвергаться воздействию микроорганизмов активного ила, либо окисленный осадок после биореактора второй ступени может направляться на обезвоживание, а затем подвергаться его широкой утилизации. Окисленный ИАИ лучше подвергается обезвоживанию, чем не обработанный.

Преимущество предполагаемого способа:

Компактность, быстрота ввода в эксплуатацию, невозможность развития нитчатых бактерий, простота обезвоживания остающегося избытка активного ила и возможность его широкой утилизации.

Во Франции разработан способ **Biolysis®** [33]. Способ **Biolysis®** может быть реализован в двух вариантах:

химическим воздействием на бактерии активного ила -**Biolysis®** О;

энзимным воздействием на бактерии активного ила -**Biolysis®** Е.

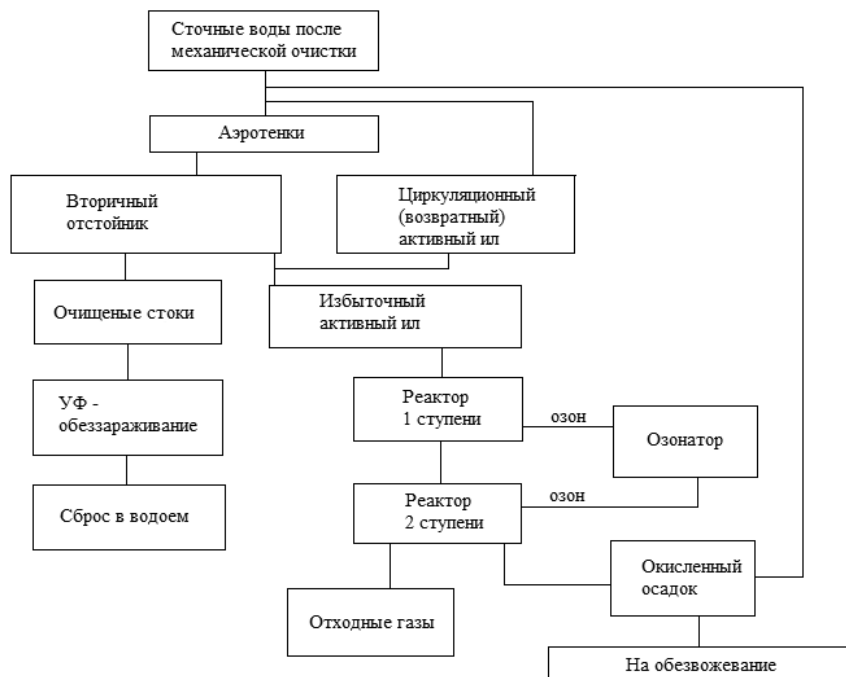
Способ **Biolysis®** О (воздействие озоном) разработан компанией «Дегремон» в 1997 г. на основе собственных достижений в области реализации окислительных процессов и биотехнологий.

Первая установка **Biolysis®** О производительностью 1 тыс. экв. жителей была введена в действие на коммунальных очистных сооружениях в департаменте Вогезы (Франция).

Установка работает уже несколько лет, и в числе ее основных преимуществ можно отметить компактность, быстроту ввода в действие, простоту эксплуатации, ограничение развития нитчатых бактерий, простоту обезвоживания остающегося избытка активного ила с возможностью эффективной его утилизации в сельском хозяйстве.

Biolysis® Е - чисто биологический способ воздействия, разработанный компанией «Дегремон» в сотрудничестве с компанией «Шинко Пантек» (Япония), состоит в использовании определенного типа бактерий, которые в инертном состоянии присутствуют в природной среде. Эти бактерии, активированные в термофильном реакторе в определенных условиях, выделяют специфические энзимы, которые полностью разлагают или повреждают бактерии активного ила до такой степени, что последние теряют способность развиваться в аэротенке.

Рис 7. Технологическая схема обработки озоном избыточного активного ила с целью его сокращения.



Первая в Европе установка **Biolysis®** производительностью 3 тыс. экв. жителей была введена в действие на коммунальных очистных сооружениях г.Вербери департамента Уазы (Франция).

Среди основных ее преимуществ можно отметить следующие: простота эксплуатации, применимость на сооружениях очистки промышленных сточных вод агро - пищевой промышленности, экономическая привлекательность при использовании существующего на площадке источника тепловой энергии, ограничение развития нитчатых бактерий.

Анализ полученных результатов эксплуатации очистных сооружений с реализацией на них способа **Biolysis®** показывает, что сокращение количества избыточного активного ила может составлять от 30 до 80 %, а в случае чисто биологических осадков -до 100 %!

Способ **Biolysis®** позволяет в любой момент адаптировать работу очистных сооружений к конкретным условиям (период вывоза осадков на поля фильтрации,

временный вывод из эксплуатации установок по сжиганию осадков для ремонта или проведения профилактических работ и др.).

Затраты на реализацию способа Biolysis®. С технической точки зрения два варианта реализации способа **Biolysis®** легко адаптируются к любым сооружениям по очистке как коммунальных, так и промышленных сточных вод, а также могут применяться на действующих очистных сооружениях для решения периодически возникающих эксплуатационных проблем отведения и переработки осадков сточных вод.

Экономически оба варианта способа **Biolysis®** оказываются несомненно рентабельными для применения на очистных сооружениях производительностью не менее 20 тыс. экв. жителей. Для сооружений меньшей производительности требуется индивидуальная проектная проработка на стадии технико-экономического обоснования.

С точки зрения общих приведенных затрат (капиталовложения и эксплуатационные

расходы) при сопоставлении с классическими сооружениями сбора, переработки и транспортировки осадков сточных вод оба варианта способа **Biolysis®** могут оказаться весьма привлекательными и для муниципалитетов, и для промышленных предприятий.

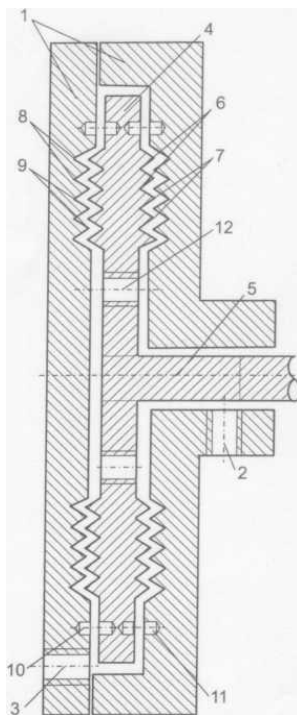
Установка для гидродинамической обработки осадков сточных вод «УГОС-110» (далее - ГД-установка) разработана и изготовлена ООО «ГИДРОМАШ ЭКОЛОГИЯ» (г. Нижний Нов-город) [34]. Принцип работы установки — комплексное воздействие на подаваемый осадок. Включает сочетание диссипативного разогрева при сдвиговом деформировании и гидродинамической кавитации. Указанное комплексное воздействие обеспечивает разрушение структуры осадка за счет деструкции клеток микроорганизмов с одновременным обеззараживанием от яиц гельминтов.

Гидравлическая производительность установки - до $50 \text{ м}^3/\text{сут}$ по исходному осадку; установленная мощность - 11 кВт; масса - 110 кг; частота вращения рабочего органа - 3000 мин⁻¹. Схема реактора ГД-установки представлена на рис.8

Реактор ГД-установки состоит из разъемного статора 1 цилиндрической формы, образующего полость, в которой имеются входное 2 и выходное 3 отверстия, там же размещается ротор 4, закрепленный на валу 5. Вал приводится во вращение электродвигателем. На обеих поверхностях ротора концентрические пазы 6 имеют профиль треугольника с внутренним углом α . Концентрические пазы на поверхности ротора формируют между собой выступы 7. На дисках статора также имеются концентрические пазы 8, образующие между собой выступы 9. Профиль концентрических пазов ротора и статора идентичен, пазы ротора сопрягаются с

выступами статора, а пазы статора сопрягаются с выступами ротора с осевым зазором.

Рис. 8. Схема реактора установки «УГОС»



Между наибольшим по радиусу концентрическим пазом и краем ротора расположены средства турбулизации потока обрабатываемой среды, представляющие собой отверстия на роторе и отверстия 11 на статоре, способные совмещаться при вращении ротора. Между наименьшим по радиусу концентрическим пазом и центром ротора расположены отверстия 12, являющиеся средствами перемешивания.

Обрабатываемый избыточный активный ил через входное отверстие 2 подается под некоторым давлением в реактор, где он попадает на ступицу ротора и отбрасывается центробежными силами от центра вращения ротора к его периферии. Посредством отверстий 12 жидкость заполняет реактор, интенсивно перемешивается и поступает в осевые зазоры между пазами и выступами дисков ротора и статора. Благодаря силам смачиваемости между поверхностью реактора и обрабатываемой жидкостью последняя приходит во вращение, увлекается пазами и выступами ротора и удерживается пазами и выступами статора.

При движении жидкости в осевых зазорах возникают напряжения растяжения, сдвига, формируется плоский поток вращающейся жидкости, натекающий и отрывающийся от поверхности пазов и выступов, испытывающий при этом боковые перепады давления. По мере натека струи на выступ боковое давление повышается, а по мере стекания струи с выступа - понижается. Пройдя последний выступ, поток подвергается воздействию средств турбулизации, расположенных между наибольшим по диаметру концентрическим пазом и краем ротора, и выталкивается из реактора через выходное отверстие 3.

При треугольном профиле концентрических пазов с внутренним углом $40^\circ \leq \gamma \leq 80^\circ$, зависящим от глубины паза и диаметра ротора, в установившемся режиме реактора осевой зазор является отрезком волновой системы с условиями, заданными на конце. Возбуждение перекрывающимися отверстиями колебаний на одном конце потока с частотой, близкой к общей частоте, излучаемой реактором, многократно интенсифицирует процесс обработки.

Таким образом, осуществляется комплексное воздействие на обрабатываемый ил: гидромеханическое - перед входом в осевой зазор, кавитационное - в осевом зазоре, и импульсное - с помощью средств турбулизации потока.

При выполнении исследований наибольшая часть технологическая эффективность реагентной обработки уплотненного ила была достигнута при использовании катионных флокулянтов «Праестол – 650 BS» и «Зетаг – 8120».

При этом среднее значение рабочей дозы флокулянта составило: для уплотненного активного ила без представительной ГД – обработки – 5,6 кг/т сухого вещества ила; для уплотненного ила с предварительной ГД – обработкой – 4,2 кг/т.

Результаты выполненных ООО «ГИДРОМАШ ЭКОЛОГИЯ» испытаний по дегельминтизации осадка на установке «УГОС – 110» позволяют сделать вывод, что обработка активного ила в гидродинамическом режиме обеспечит его санитарное обезвреживание за счет уничтожения яиц гельминтов.

Выполненные работы позволили сделать вывод, что применение установок «УГОС-110» повышает эффективность обработки избыточного активного ила за счет улучшения его водоотдающих свойств, а также реагентной обработки активного ила, его уплотнения и обезвреживания методом фильтрования под действием сил гравитации. Техничко-экономическими расчетами установлено, что использование такого оборудования наиболее целесообразно на очистных сооружениях биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью до 3000 м³/сут. Не исключена также возможность применения установок на сооружениях производительностью 3000-10 000 м³/сут при условии выполнения предварительных технологических испытаний установки и технико-экономического обоснования данного метода обработки осадка для конкретных объектов.

В дальнейшем предполагается выполнить комплекс испытаний установки «УГОС-110» для обработки осадков на очистных сооружениях производственных сточных вод, содержащих органические загрязнения, в первую очередь на предприятиях пищевой промышленности (мясоперерабатывающие, молокоперерабатывающие заводы) и предприятиях по разведению птиц, свиней, крупного рогатого скота.

Для стабилизации процесса электроактивационной обработки иловой смеси сотрудниками кафедры водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета архитектуры и строительства было предложено обрабатывать иловую смесь в системе соосно расположенных электродных камер электрогидродинамического устройства (ЭГДУ). [35].

В системе плоскопараллельных электродов иловая смесь находится в области, ограниченной катодом и анодом, где постоянно происходит перемешивание прикатодных и прианодных объемов жидкости, а в системе соосно соединенных цилиндрических камер иловая смесь поочередно проходит катодные и анодные участки.

ЭГДУ (рис. 9) состоит из трех основных частей: цилиндрической камеры входа, соосно присоединенной к ней вихревой камеры и камеры смешения. В пристеночных областях ЭГДУ обеспечивается интенсивное вращательно-поступательное движение жидкости, характеризуемое повышенным уровнем турбулентности.

Авторами предложено обрабатывать в ЭГДУ воздушно-иловую смесь, образующуюся на выходе из жидкостно-газового эжектора. Предложенная технология позволяет реализовать следующие методы воздействия на иловую смесь: насыщение активного ила кислородом воздуха; воздействие на активный ил повышенной турбулентности; электроактивация иловой смеси. Были проведены исследования по повышению степени ферментативной активности иловой смеси, взятой из аэротенков канализационных очистных сооружений (КОС) г. Заречного Пензенской области, при ее последовательной обработке в эжекторе и ЭГДУ.

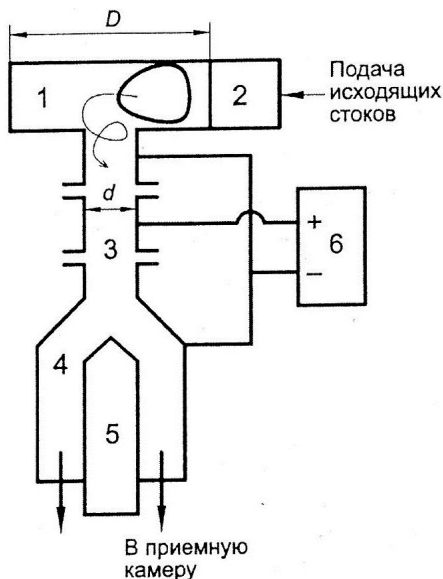
Практическое внедрение технологии электроактивации потока возвратного ила проводилось также на КОС г. Заречного Пензенской области (общая производительность 35000 м³/сут).

В результате реконструкции на линиях возвратного ила блока аэротенков ТП 902-2-83 были смонтированы эжекторы и ЭГДУ для обработки иловой смеси. Таким образом, была реализована технология утилизации избыточной энергии потока возвратного активного ила, перекачиваемого центробежными насосами, путем его последовательной обработки в эжекторе и ЭГДУ.

Результаты, полученные от внедрения технологии утилизации избыточной энергии потока возвратного ила на КОС г. Заречного, представлено в таблице 6. Как

видно из таблицы, стимуляция возвратного ила в ЭГДУ позволяет интенсифицировать процессы биохимической очистки городских сточных вод в аэротенках.

Рисунок. 9. Схема электрогидродинамического устройства



7 - камера входа; 2 - входной патрубок; 3 - вихревая камера; 4 - камера смешения; 5- тело обтекания; 6- источник тока.

Предложенная установка утилизации избыточной энергии является самостоятельной системе аэрации дополнительную окислительную способность на начальных, наиболее нагруженных участках аэротенков, о чем свидетельствует резкое увеличение концентрации кислорода в иловой смеси (до 5,8-6,2 мг/л).

В штатную систему мелкопузырчатой пневматической аэрации блока аэротенков КОС г. Заречного сжатый воздух подается от трех турбовоздуходувки ВТ-80-11,5, мощностью 160 кВт каждая. Внедрение технологии утилизации избыточной энергии позволило отключить одну воздуходувку, при этом концентрация кислорода в аэро-тенках не опускалась ниже 2,5-2,9 мг/л.

Внедрение технологии электроактивации потока возвратного ила на КОС г. Заречного Пензенской области позволило снизить концентрации загрязняющих веществ на выходе из аэротенка, мг/л: по взвешенным веществам с 14-20 до 12-16; БПК_{пол} с 14-18 до 7-10; аммонийному азоту с 14-18 до 5-8, общему фосфору с 1,3-1,7 до 0,4-0,9.

Таблица 6 – Результаты внедрения технологии утилизации избыточной энергии возвратного ила.

Показатель	Сточные воды, поступающие на очистные сооружения	Сточные воды на выходе с очистных сооружений		
		без активации потока возвратного ила	с активацией потока возвратного ила	
		33-процентная регенерация	без регенерации	
Взвешенные вещества, мг/л	80-120	14-20	12-16	12-16
ХПК, мг/л	180-320	43-54	22,5-30	17-25
БПКполн, мг/л	110-220	14-18	9-12	7-10
NH ₄ , мг/л	19-29	14-18	7-9	5-8
N0 ₃ , мг/л	0	1,1-1,5	1,2-1,6	1,4-2,5
N0 ₂ , мг/л	0-0,04	0,7-0,8	0,05-0,1	0,05-0,1
PO ₄ , мг/л	2,2-2,8	1,3-1,7	0,7-1,2	0,4-0,9
Иловый индекс, см ³ /г	-	140-170	100-115	100-115
Прирост активного ила, г/м ³	-	120	70	70

Обработка потока возвратного ила по предложенной технологии позволила понизить иловый индекс со 140-170 до 110-115 см³/г **и уменьшить прирост активного ила 1,3-1,7 раза.**

Глава 4.

Обезвоживание осадков сточных вод и производственных шламов.

Природа – это не просто набор случайных совпадений, но проявление чудно взаимодействующих метематических законов.

Космолог Пол Дейвие

Важно не только то, что в природе есть определенные закономерности, но и то, что эти закономерности метематически точны универсальны и «связаны друг с другом»

Энтони Флю, Британский философ и атеист.

4.1 Выбор оборудования для обезвоживания осадков сточных вод и производственных шламов.

Вопросы выбора и последующего внедрения методов и технологий механического обезвоживания осадков промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод чрезвычайно актуальны. Осадки, образующиеся в процессе механической, биологической и физико-химической очистки природных и сточных вод, относятся к трудно фильтруемым суспензиям коллоидно-мелкодисперсного типа. Иногда они содержат специфические включения (жиры, масла, нефтепродукты и т. д.). На строительство и эксплуатацию очистных сооружений для обработки осадков приходится до 20% всех затрат, поэтому правильный выбор технологии и оборудования для этого участка существенно влияет на общий уровень рентабельности предприятия. [42, 44]

Опыт переоснащения цехов механического обезвоживания осадков показывает, что правильно подобранное обезвоживающее оборудование может обеспечить значительное сокращение затрат на эксплуатацию. Так, замена трех центрифуг ленточными фильтр-прессами в цехе механического обезвоживания осадков МУП «Горводоканал» г. Новосибирска, при сокращении расхода флокулянта в 3 раза и экономии электроэнергии до 930 тыс. кВтч/год на единицу оборудования, обеспечила прямой экономический эффект в размере около 2,3 млн. руб/год. При этом в расчетах не учтена экономия от снижения стоимости ремонта и технического обслуживания оборудования.

Наиболее распространенным техническим решением в области механического обезвоживания осадков городских и промышленных сточных вод как

в России, так и во всем мире является использование центрифуг (декантеров) и ленточных фильтр-прессов. В последние годы также завоевывают популярность шнековые дегидраторы для обезвоживания осадков очистных сооружений малой производительности. Поскольку шнековые дегидраторы, в отличие от ленточных фильтр-прессов и центрифуг, являются новым оборудованием на нашем рынке, остановимся подробнее на их описании.

Дегидратор представляет собой комплекс оборудования, состоящий из обезвоживающего барабана (барабанов), шнека с электроприводом, узла промывки, технологической емкости, дозирующей емкости и емкости флокуляции с мешалкой, а также внутренних насосов.

Основным рабочим узлом дегидратора является обезвоживающий барабан, представляющий собой набор подвижных и неподвижных колец, собранных на поддерживающей раме. Зазоры между кольцами во входной части барабана (зона сгущения) больше, чем в последующей зоне (зона отжима). Внутри барабана размещен шнек с переменным шагом витков. Уменьшение шага витков шнека обеспечивает постепенное увеличение давления на осадок, движущийся внутри барабана. Выход из барабана частично перекрыт подвижной перегородкой. Изменяя расстояние между выходом из барабана и перегородкой, можно регулировать противодавление на осадок и тем самым влиять на степень его обезвоживания.

Самоочищение фильтровальных пор барабана (зазоров между кольцами) обеспечивается плоскопараллельным движением подвижных колец относительно неподвижных под действием шнека. Дополнительно внешняя поверхность барабана автоматически промывается водой из форсунок узла промывки. Общее время промывки составляет 1-2 мин.

Дегидратор работает в непрерывном режиме. Из внешней накопительной емкости исходный осадок периодически закачивается в технологическую емкость дегидратора. Расслоению осадка в технологической емкости препятствует насос перемешивания.

Необходимое количество осадка накапливается в емкости дозирования, откуда он подается в емкость флокуляции, где происходит смешение исходного осадка с раствором полиэлектролита до образования флоккул.

Подготовленный к обезвоживанию осадок поступает в барабан и за счет вращения шнека перемещается к зоне выгрузки кека, теряя при этом воду. Отделившийся фильтрат отводится через прозоры между кольцами и собирается в поддон, а обезвоженный осадок по склизу попадает в накопительную емкость или приемный бункер транспортирующего устройства.

Дегидраторы оснащены приводными механизмами, датчиками уровня в технологической емкости и емкости флокуляции, системой регулирования скорости вращения шнеков и мешалки. Возможно программирование установки на включение

в определенное время, на заданный промежуток времени, а также в зависимости от уровня осадка во внешней накопительной емкости.

Основными технологическими параметрами при выборе обезвоживающего оборудования являются: производительность; влажность осадков, подаваемых на обезвоживание; влажность обезвоженных осадков; эффективность задержания сухого вещества; концентрация взвешенных веществ в фильтрате (фугате). Как показывает практика, ленточные фильтр-прессы, шнековые обезвоживатели и центрифуги сопоставимы между собой по этим показателям.

Шнековые дегидраторы демонстрируют отличные результаты при работе с различными осадками, в том числе содержащими масло, жир, абразивные включения, а также с низким либо высоким содержанием сухого вещества.

Остаточная влажность обезвоженного осадка после дегидратора может составлять 75-82% при средней дозе флокулянта 1,5-4 кг/т сухого вещества. Содержание взвешенных веществ в фильтрате (фугате) в среднем составляет до 400 мг/л. При этом установка очень экономична: мощность оборудования в зависимости от производительности составляет 0,6-2,9 кВт, потребность в промывной воде 50-200 л/ч. Шнековый дегидратор легко устанавливается в условиях ограниченного пространства, не требует дополнительной системы вентиляции и крайне прост в обслуживании.

Высокая износостойкость основных узлов дегидратора обеспечивает безотказную работу шнека и обезвоживающих колец в течение до 30 тыс. часов. Стоимость замены этого узла составляет приблизительно 6-10 тыс. евро. Также дегидратор имеет высокие показатели ремонтпригодности, в частности, для установок с двумя и более шнеками допустимо обслуживание одного шнека при параллельной работе других.

Основным ограничением использования шнековых дегидраторов является их невысокая производительность - до 100 кг/ч по сухому веществу исходного осадка на один агрегат. При этом на очистных сооружениях средней и большой производительности необходимо значительно большее количество оборудования, чем при использовании фильтр-прессов или центрифуг, что влечет за собой высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

На очистных сооружениях средней и большой производительности наиболее целесообразны ленточные фильтр-прессы и центрифуги (декантеры). Применение центрифуг оправдано, в первую очередь, для масло- и жиросодержащих осадков, а также осадков с высоким содержанием избыточного активного ила. В то же время не рекомендуется применять центрифуги для работы с осадками, содержащими абразивные включения, которые, к сожалению, из-за недостаточно качественной механической очистки встречаются на отечественных очистных сооружениях очень часто.

Преимущества использования центрифуг: более высокое содержание сухого вещества в кеке, что особенно характерно для осадков с высоким содержанием избыточного активного ила;

низкая потребность в промывной воде - она, необходима только при остановке оборудования для очистки внутренних поверхностей (в отличие от фильтр-пресса, для работы которого вода используется постоянно);

отсутствие необходимости обустройства помещения дополнительной системой вентиляции, т. е. установка «козырька» непосредственно над оборудованием, как это рекомендуется в ряде случаев при работе фильтр-прессов.

Последнее преимущество может быть оспорено, поскольку высокое тепловыделение от более мощных электродвигателей центрифуг требует увеличения производительности системы вентиляции, а значит, и капитальных затрат на ее обустройство в цехах механического обезвоживания.

Недостатками центрифуг являются более высокие затраты на электроэнергию, реагенты, профилактический и капитальный ремонт. Причем эти затраты значительно превосходят преимущества их использования.

Внедрение ленточных фильтр-прессов вместо шнековых центрифуг на объектах очистки муниципальных сточных вод позволило получить годовую экономию электроэнергии: в Голицыно (Московская область) - 500 тыс. кВт-ч, Асбесте (Свердловская область) - 175 тыс. кВт-ч, Симеизе (Крым) - 500 тыс. кВт-ч, Казани - 1460 тыс. кВт-ч.

Доза флокулянтов для всех видов оборудования составляет при обезвоживании: илов - 5 - 6 кг/т (высокая) сухого вещества осадка, смеси сырого осадка и ила — около 3 - 4 кг/т, сырых осадков - 1,5 - 3 кг/т (самая малая).

Большую сложность представляет собой ремонт шнека центрифуг. Произвести качественный ремонт (напыление или приваривание износостойкого покрытия, балансировку) шнека центрифуги в условиях ремонтного цеха эксплуатирующего предприятия практически невозможно, поэтому работы проводятся на заводе-изготовителе или на его ремонтной базе. Поскольку основное количество качественных центрифуг для обезвоживания осадков сточных вод производится за рубежом, ремонтные работы сопряжены с длительным сроком простоя оборудования. Стоимость ремонта шнека центрифуги может достигать 25-40% стоимости самой центрифуги (от 15 до 80 тыс. евро), поэтому ремонт производится один раз в 2-3 года.

Основным расходным материалом на фильтр-прессах являются ситовые ленты и манжеты подшипников (стоимость комплекта 2-4 тыс. евро), необходимость замены которых возникает один раз в 1,5-3 года. Ремонт валов (восстановление полиуретанового покрытия) может понадобиться один раз в 6-10 лет, и его стоимость составляет порядка 10-15 тыс. евро. Важным преимуществом является оперативность

ремонтных работ. Замена ситовых лент занимает 1-2 ч, замена манжет - 2-3 рабочих дня, ремонт вала - не более двух недель.

Трудозатраты на обслуживание агрегатов сопоставимы. Реально до трех единиц фильтр-прессов или центрифуг может обслуживать один оператор, однако по нормам требуется минимум два человека. Таким образом, затраты на содержание обслуживающего персонала в обоих случаях будут составлять порядка 70-250 тыс. руб. в месяц. Одной из наиболее часто повторяющихся процедур технического обслуживания фильтр-прессов является смазывание подшипниковых узлов. Данная операция повторяется один раз в 3-6 недель и выполняется слесарем невысокого разряда. Смазка узлов центрифуг производится реже (один раз в 2-3 месяца), но должна выполняться персоналом более высокой квалификации.

Габариты центрифуг и фильтр-прессов, рассчитанных на одинаковую производительность, отличаются незначительно. Центрифуги более компактны, особенно по высоте, но требования к усиленной конструкции их основания и его специальному исполнению, исключающему распространение вибрации по периметру рабочей зоны, а также более высокое тепловыделение от электроприводов центрифуг, выравнивают капитальные затраты на строительство цехов обезвоживания на базе фильтр-прессов и центрифуг, а также затраты на обустройство систем вентиляции. Так, для цеха с габаритами 12x12 м и около 6 м высотой при размещении двух фильтр-прессов со сгустителями ПЛ-16 К (4x2 м) или двух центрифуг (3,9x1,5 м) затраты на обустройство систем вентиляции составят порядка 1,2 млн. руб., а стоимость строительства цеха - порядка 10 млн. руб. В табл.7 приведены технологические особенности различных агрегатов для обезвоживания осадков.

На малых очистных сооружениях (производительность до 800 кг/сут сухого вещества осадка) шнековые дегидраторы имеют явное преимущество как по технологическим, так и по экономическим характеристикам. Они могут работать практически с любыми осадками, располагаются на ограниченной территории, просты и удобны в обслуживании. Кроме того, их стоимость в 2-3 раза меньше, энергопотребление и эксплуатационные затраты на ремонт и обслуживание в 3-4 раза ниже, чем для центрифуг и фильтр-прессов.

Таблица 7. Технологические особенности различных агрегатов для обезвоживания осадков.

Технологические особенности	Центрифуга	Ленточный фильтр-пресс	Шнековый дегидратор
Распространение запахов и санитарное состояние цеха	Закрытая конструкция, но необходима общая вентиляция	Необходимы надежная система вентиляции и ежедневная мойка оборудования	Закрытая конструкция, но необходима общая вентиляция
Потребность в промывной воде	Небольшое количество (в конце цикла для мойки внутренней поверхности агрегата)	Большое количество (20—40% от объема осадка, подаваемого на обезвоживание) под давлением 5—7 атм	Небольшое количество (около 1—2% от объема осадка, подаваемого на обезвоживание) под давлением 1-2 атм
Шум и вибрация	Высокие значения шума — более 70 дБ. Для предотвращения вибрации необходим специальный фундамент	Агрегат бесшумный, не вибрирует. Шум от промывочных форсунок в пределах нормы	Вибрация практически отсутствует. Шум от форсунок периодический, в пределах нормы (1—2 мин в час)
Обезвоживание жиро- и нефте-содержащих шламов	Возможно в широких пределах концентраций	Возможно только при незначительных концентрациях	Возможно в широких пределах концентраций
Обезвоживание осадков с высоким содержанием абразивных включений	Возможно, но вызовет быстрое истирание и износ ротора и внутренней поверхности корпуса	Возможно в широких пределах концентраций	Возможно в широких пределах концентраций, но ресурс шнека будет меньше (20—25 тыс. ч вместо 30 тыс. ч)
Визуальный контроль за протеканием процесса	Отсутствует	Легкий доступ	
Содержание взвешенных веществ в фильтрате	При сопоставимых дозах флокулянта и средних оборотах ротора — выше, чем у фильтр-пресса и дегидратора на 20—50%	Обычно в пределах 200-700 мг/л	

В табл.8 сравниваются капитальные и эксплуатационные затраты на обезвоживание осадков на очистных сооружениях средней производительности с использованием центрифуг, ленточных фильтр-прессов и шнековых дегидраторов. Исходные данные: тип осадка - смесь сырого осадка и избыточного активного ила; объём исходного осадка 450 м³/сут; влажность исходного осадка 97,5%; время работы комплекса 16 ч/сут.

Таблица 8.

Сравниваемый параметр	Центрифуга	Ленточный фильтр-пресс	Шнековый дегидратор
1	2	3	4
Тип основного агрегата Установленная/потребляемая мощность (70%от установленной),кВт Стоимость, руб.	Любой из современных 40/28 Около 8 млн.	ПЛ-16 К 3,3/2,3 Около 7,5 млн.	MDQ-205 (6 шт.) 17,4/12 Около 24 млн.
Насос-дозатор исходного осадка: установленная мощность, кВт стоимость, руб.	Шнекового типа 5,5 Около 300 тыс.	Шнекового типа 5,5 Около 300 тыс	Погружной или импел-лерный без функции регулирования (6 шт.) 1,5 550 тыс.
Станция приготовления раствора флокулянта: производительность по готовому раствору, л/ч установленная мощность, кВт стоимость, руб.	Автоматическая 2000 2,5 900 тыс.		
Насос-дозатор раствора флокулянта: установленная мощность, кВт стоимость, руб.	Шнекового типа 0,75 Около 130 тыс.	Шнекового типа 0,75 Около 130 тыс.	Мембранный с функцией ручной регулировки (6 шт.) 0,5 Около 500 тыс.
Компрессор: установленная мощность, кВт стоимость, руб.	-	Поршневого типа 1,5 30 тыс.	-
Насос промывной воды: установленная мощность, кВт стоимость, руб.	-	Центробежного типа 2,2 80 тыс	-
Дополнительная вентиляция в цехе механического обезвоживания осадка: установленная мощность, кВт стоимость, руб.	Достаточно обычной вентиляции	Требуется 3 Около 300 тыс. (за единицу оборудования)	Достаточно обычной вентиляции

Таблица 8 (продолжение)

1	2	3	4
Итого стоимость базового оборудования комплекса, руб.	Около 9,4 млн.	Около 9,3 млн.	Около 26 млн.
Потребление энергии всем комплексом, кВтч	Около 35	Около 17	Около 22
Потребление энергии всем комплексом в год (за 10 лет), МВтч	204,4 (2044)	99,3 (993)	128,5 (1285)
Стоимость электроэнергии за год (за 10 лет) при стоимости 4 руб/(кВтч), руб.	817,6 (8176) тыс	397,1 (3971) тыс	514(5140) тыс.
Затраты на капитальный ремонт в течение 10 лет, руб	Замена и ремонт ротора (не менее 3 раз), электродвигателя, подшипников Около 12 млн	Замена ситовых лент (не менее 5 раз), электродвигателя, подшипников, пластиковых прокладок, ремонт валов Около 3,5 млн.	Замена электродвигателей, барабанов и шнеков Около 12 млн.
Трудозатраты в месяц, руб.	Два оператора ежемесячно (по 2 смены в день) + слесарь и электрик, привлеченные к периодическому техническому обслуживанию из штата предприятия 130 тыс.		Два оператора ежемесячно (по 2 смены в день)+ слесарь и электрик, привлеченные к периодическому техническому обслуживанию из штата предприятия 160 тыс. (из-за большего расчетного количества агрегатов ставка у технического персонала выше)
Капитальные затраты на строительство цеха 15х12х6 м (в том числе на отопление и вентиляцию), руб.	11,5 млн.	11,5 млн.	17 млн. (из-за большего количества агрегатов расчетные габариты цеха должны быть 18х12м)

Абсолютный лидер по экономическим и технологическим показателям для малых очистных сооружений - шнековый дегидратор – теряет свои позиции при увеличении производительности очистных сооружений. Из-за низкой мощности шнековых дегидраторов для очистных сооружений производительностью 5-20 т/сут сухого вещества осадка требуется в 2-5 раз больше единиц этого оборудования в сравнении с фильтр-прессами и центрифугами. Соответственно увеличивается площадь, необходимая под размещение оборудования, и связанные с этим капитальные затраты.

Таким образом, для принятия решения о выборе между центрифугами и ленточными фильтр-прессами необходим отдельный расчет по каждому конкретному объекту. Выбор оборудования в первую очередь зависит от состава осадка. Также необходимо учитывать имеющиеся сооружения, емкости, трубопроводы, а также требования к качеству механически обезвоженного осадка. При прочих равных условиях центрифуги и фильтр-прессы сопоставимы по стоимости, но фильтр-прессы в 2-2,5 раза экономнее по энергозатратам и эксплуатационным расходам. Центрифуги чаще выбираются при необходимости обезвоживания масло- и жиросодержащих осадков, поскольку их обезвоживание на ленточном фильтр-прессе приводит к быстрому забиванию пор ситовой ленты.

Аргументом в пользу центрифуг также часто является более высокая степень обезвоживания. Однако борьба за каждый дополнительный процент обезвоживания очень часто не оправдана. Например, уменьшение влажности обезвоженного осадка на 2% обеспечивает сокращение объема кека лишь на 8-10%, что не сопоставимо с эксплуатационными затратами на работу центрифуг. Эти расходы становятся оправданными, если технология утилизации осадков предусматривает последующую сушку обезвоженного осадка.

Для выбора обезвоживающего оборудования на очистных сооружениях большой производительности (более 25 т/сут осадка по сухому веществу), как и на сооружениях средней производительности, необходимо провести обследование и разработать технико-экономическое обоснование применительно к конкретному объекту. При прочих равных условиях экономически целесообразно использование ленточных фильтр-прессов: их стоимость ниже стоимости центрифуг на 10-25%, они более чем в 3 раза экономнее по энергопотреблению и эксплуатационным затратам. Несмотря на экономическую целесообразность установки ленточных фильтр-прессов на очистных сооружениях производительностью более 5 т/сут осадка по сухому веществу, в ряде случаев использование центрифуг является единственно возможным решением, например, при обезвоживании осадков с содержанием жиров и нефтепродуктов, а также со 100-процентным избыточным активным илом.

Компания «ЭКОТОН» уже более 10 лет поставляет ленточные фильтр-прессы и сгустители на объекты Водоканалов и очистные сооружения

промышленных предприятий. Оборудование производится на заводах компании в России и Украине. На сегодняшний день поставлено более 100 комплексов механического обезвоживания осадков сточных вод. Тесное сотрудничество с эксплуатирующими предприятиями позволило создать оптимальную по функциональным и экономическим характеристикам обезвоживающее оборудование и обеспечить наиболее комфортные условия его эксплуатации.

При целесообразности установки центрифуг в цехе механического обезвоживания осадков на очистных сооружениях компания сотрудничает с ведущими мировыми производителями данного вида оборудования. В последние годы увеличился спрос на экономичное обезвоживающее оборудование для малых очистных сооружений, поэтому с 2011 г. на заводах «ЭКОТОН» налажено совместное с японской компанией «Tsurumi Pump» производство шнековых дегидраторов. НПФ «ЭКОТОН» является единственной на отечественном рынке компанией-производителем шнековых дегидраторов, все остальное оборудование представлено преимущественно японскими и европейскими брендами. Это обеспечивает преимущество дегидраторов «ЭКОТОН» как по цене, так и по условиям постпродажного сервиса.

4.2 Обезвоживание осадков центрифугированием.

В начале 1970-х годов в Санкт-Петербурге велось интенсивное строительство сооружений по очистке сточных вод и обработке образующегося осадка [45]. В этот период отечественными проектами предусматривалось оснащение линий обработки осадка барабанными вакуум-фильтрами. В качестве реагентов использовались хлорное железо и известь. Однако эти установки не могли максимально обеспечить обезвоживание осадка, поскольку не были полностью автоматизированы, и сам процесс проводился в неудовлетворительных санитарно-гигиенических условиях. Поэтому встал вопрос о выборе современного метода обработки и утилизации осадков сточных вод.

В Западной Европе широкое распространение получил метод обезвоживания осадков центрифугированием с использованием полимерных флокулянтов. На центрифуге, смонтированной специалистами из Германии и Водоканала Санкт-Петербурга на базе грузового автомобиля, были отработаны основные параметры технологического процесса обезвоживания осадка на малых сооружениях предприятия. По результатам этих работ было принято решение о закупке и установке в 1976 г. на канализационных очистных сооружениях г. Пушкина производительностью 41 тыс. м³/сут двух центрифуг S 2-1 западногерманской фирмы КХД «Гумбольдт». Эти установки успешно эксплуатировались в течение многих лет [48].

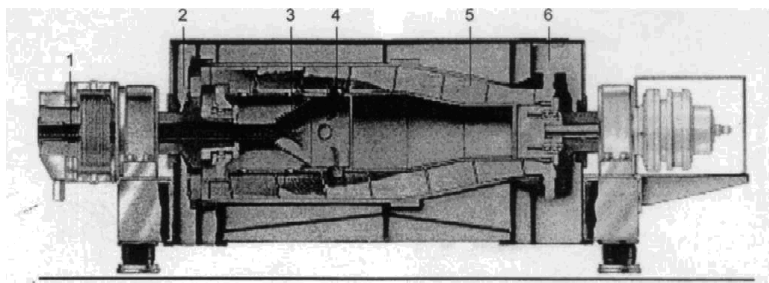
В 1978 г. была введена в эксплуатацию Центральная станция аэрации проектной производительностью 1 500 000 м³/сут. В состав оборудования цеха обезвоживания входило 14 центрифуг S 4-1 фирмы КХД «Гумбольдт».

На Северной станции аэрации первоначально были установлены центрифуги ОГШ-1000 К-01, которые имеют недостаточную защиту кромки шнека, поэтому срок их службы не превышает 5000 ч. Кроме того, эти установки имеют низкую эффективность, поскольку не приспособлены для работы с применением флокулянтов. Впоследствии эти центрифуги были заменены центрипрессами, демонтированными при строительстве Завода по сжиганию осадка на Центральной станции аэрации. Средние показатели обезвоживания осадков на центрифугах этой станции и очистных сооружений г. Пушкина приведены в табл.9.

Таблица 9.

Оборудование	Доза флокулянта по сухому веществу, кг/т*	Концентрация кека, %*	Эффективность обезвоживания, %
Центрифуги 8 4-1.5 2-1, ОГШ-1001 К-01**	3-3,5	18-22	95-97
Центрипресс СР 4-1	5,6	25	90
Декантер «Вестфалия Сепаратор»	4,2-6	25,2-26,6	96-98
Декантер «Флоттвег»	4,8-5,2	26,6-28,5	96-98
* В зависимости от содержания в смеси осадков избыточного активного ила.			
** Эксплуатировались на Северной станции аэрации.			

Рисунок 10. Центрипресс фирмы «Бирд Гумбольдт»



1-подача осадков; 2-отвод фугата; 3-камера смешения осадка и флокулянта; 4-подача сфлуккулированного осадка в зону разделения; 5-зона обезвоживания; 6-удаление кека.

Основной проблемой эксплуатации центрифуг в тот период являлся довольно быстрый выход из строя шнеков по причине абразивного износа его кромок. Это связано с неудовлетворительной подготовкой осадка первичных отстойников к обезвоживанию на скоростных центрифугах (из-за неэффективной работы песколовок и решеток осадок содержит большое количество песка и отбросов). Для устранения этого недостатка выполнен ряд мероприятий. Для извлечения отбросов из сточной воды были установлены каскадные решетки с прозором 6 мм, оптимизирована работа песколовок. Построен цех гидроотмыва, в котором установлены гидроциклоны для более полного извлечения песка из осадка первичных отстойников, а также решетки с прозором 2 мм для процеживания сырого осадка. Аналогичные решетки смонтированы для процеживания подаваемой на обезвоживание смеси осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом.

Принятие решения по сжиганию осадков обусловило необходимость внедрения нового, более эффективного обезвоживающего оборудования, способного обеспечить влажность осадка 70-72%. При такой влажности осадок сгорает без добавления топлива. Перед началом реализации проекта по строительству заводов по сжиганию осадка, при работе которых концентрация обезвоженного осадка должна составлять 28-30%, на Центральной станции аэрации в 1992-1994 годах проводились промышленные испытания обезвоживающего оборудования различных фирм:

«Альфа Лаваль» (США), «Гумбольдт» (Германия) и «Гинар» (Франция). По результатам испытаний оборудование фирмы «Гумбольдт» показало наиболее высокие технико-экономические показатели, что послужило основанием для реализации проекта совместного производства этого оборудования на заводе «КировЭнергомаш» в Санкт-Петербурге. Обезвоживающее оборудование на основе комплектующих фирмы «Гумбольдт» получило наименование центрипресс (рис. 10).

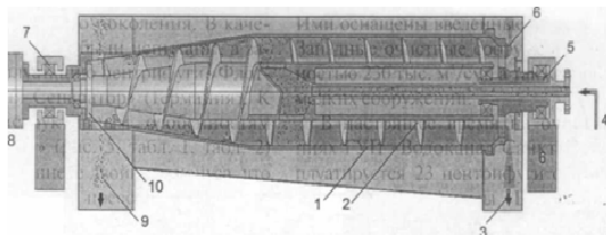
Центрипрессы, являвшиеся модификацией центрифуг, обладали рядом несомненных преимуществ по сравнению с центрифугами первого поколения:

большой угол конусности ротора позволял удлинить его цилиндрическую часть, тем самым увеличивая поверхность осаждения;

противоточное движение потоков осадка и фугата в полости ротора позволило отказаться от устройства фугатных каналов и дополнительного уплотнения между шнеком и барабаном, что существенно улучшало эксплуатационные характеристики центрифуги;

меньший шаг лопастей в конической части шнека обеспечивал дополнительное уплотнение осадка при его транспортировке.

Рисунок 11. Декантер фирмы «Флоттвег»



1 - ротор; 2 - шнек; 3 - фугат; 4 - подача необезвоженного осадка; 5 - подшипник шнека; 6 - окна фугата; 7 - подшипник ротора; 8 - привод ротора; 9 - кек; 10 - окна выгрузки кека.

По мере дальнейшего развития обезвоживающей техники возникла необходимость замены устаревшего оборудования современными центрифугами нового, третьего поколения. В качестве такого оборудования были испытаны, а затем введены в эксплуатацию центрифуги «Флоттвег» [65] и «Вестфалия Сепаратор» (Германия). К характерным конструктивным особенностям центрифуг «Флоттвег» (рис. 11, табл. 9, табл.10) относится наличие в шнеке двойного конуса, что повышает эффективность прессования и обеспечивает - получение более сухого кека. Большой угол конуса (15-17°), независимый привод (что дает возможность установки дифференциальной скорости шнека вне зависимости от скорости барабана) обеспечивают эффективную обработку весьма разбавленных (до 99%) и трудноразделяемых осадков. Это оборудование заменило устаревшие центрифуги на Центральной и Северной станциях аэрации.

В настоящее время на очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» эксплуатируется 23 центрифуги фирмы «Флоттвег» и 7 центрифуг фирмы «Вестфалия Сепаратор» разной производительности. Новое оборудование надежно в работе, обеспечивает качество обезвоженного осадка для сжигания в печах с кипящим слоем. [46, 47]

Ниже приводятся основные различия обезвоживающего оборудования двух последних поколений: центрипрессов СР 4-1.1, декантеров (Флоттвег), декантеров «Вестфалия Сепаратор».

Таблица 10.

Показатель	Центрифуга S 4-1	Центрипресс CP4-1	Центрифуга «Флоттвег»	Центрифуга «Вестфалия Сепаратор»
Производительность: гидравлическая, м ³ /ч по сухому веществу, кг/ч	40 1200-1200	50 1200-1500	70 2000	35 1000
Тип центрифуги	Горизонтальная, центробежная прямоточная	Горизонтальная, центробежная противоточная (центрипресс)	Горизонтальная, центробежная противоточная(декантер)	
Внутренний диаметр барабана, мм	900	-	620	530
Отношение диаметра к длине	2,8	-	1/4	1/4
Угол конуса, °	-	-	17 Специальная конструкция конусной части шнека для двойного отжима	8 Стандартная форма конуса
Скорость вращения барабана, об/мин	1200	2200	3200, регулируемая	3500, нерегулируемая
Максимальный момент на шнеке, Нм	-	-	24 000 Ускорение 3500g	15 000 Ускорение 3600g

Центрипресс CP 4-1.1

При наработке 15 тыс. часов необходим капитальный ремонт выполнением следующих работ: полная разборка ротора с заменой опорных подшипников, камеры хлопьеобразования, баков стока, башмаков в окнах выгрузки, пластин на винтовой линии шнека с последующей балансировкой шнека (к началу проведения работ зазор между кромкой шнека центрипресса и ротором составлял более 5 мм по радиусу, при зазоре более 3 мм — снижение производительности центрипресса в 1,5 раза); балансировка барабана в сборе; замена загрузочного устройства, включая трубу

подачи шлама и флокулянта; капитальный ремонт турбомуфты, планетарного редуктора, электродвигателей.

Декантеры «Флоттвег» Z6E-4/454

(установлены на Заводе сжигания осадка Центральной станции аэрации)

В настоящее время декантеры на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга имеют наработку от 18 000 До 26 700 ч. Капитальный ремонт не требуется. Износ кромки лопастей отсутствует. Декантер отличается простотой разборки на составные части и последующей сборки ротора, простотой периодического технического обслуживания. Потребление электроэнергии на 15% меньше по сравнению с центрифугами СР.4-1.1.

В процессе эксплуатации декантеров «Флоттвег» для исключения отложений осадков и крупных включений в барабане специалисты компании «Флоттвег АГ» совместно с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (ЗАО «ПромЭкс-Трейддинг») доработали конструкцию загрузочной трубы декантера, исходя из свойств обрабатываемой смеси осадка. Также заводомизготовителем рекомендованы и утверждены мероприятия для усиления защиты зоны выгрузки обезвоженного осадка (для продления срока службы элементов защиты декантеров).

Декантеры фирмы «Вестфалия Сепаратор»

Установлены на Юго-Западных очистных сооружениях, очистных сооружениях в Кронштадте и Пушкине.

Декантеры на ЮЗОС имеют наработку от 25 000 до 30 000 ч. Износ кромки шнека составляет 5—6 мм при гарантии 20 мм.

В течение первого года эксплуатации отмечена недолговечность элементов привода ротора. Этот недостаток устранен совместно специалистами Водоканала и фирмы-производителя. Декантеры имеют тоннельную конструкцию, что несколько усложняет монтаж (демонтаж) ротора и шнека. Отмечена быстрая истираемость элементов в зоне выгрузки кека.

В последние годы большое внимание специалисты уделяют механической и термической обработке осадка, образующегося в результате очистки сточных вод, а также его утилизации. Отдел «Окружающая среда и технологии» фирмы «АНДРИТЦ» более 30 лет производит машины, установки и комплексные системы для обработки осадков коммунальных и промышленных сточных вод. [49]

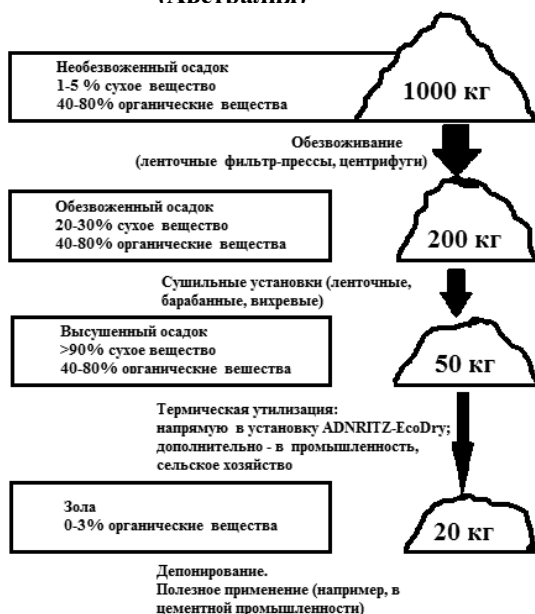
При их очистке и утилизации с возможностью получения полезного продукта необходимо предварительно подготовить осадок и максимально уменьшить его объем (рис. 12). Для максимального снижения влажности осадка при его

обработке фирма «АНДРИТЦ» предлагает комплексную технологическую схему: сгущение - обезвоживание - сушка - термическая утилизация.

Для механического сгущения осадка в зависимости от его происхождения или требований заказчика фирма ставит при исходном его содержании ~ 0,5 %. Для обезвоживания осадка фирма «АНДРИТЦ» предлагает ленточные фильтр-прессы, центрифуги, камерные и мембранные фильтрпрессы, которые в зависимости от характеристики осадка позволяют удалить из него до 65 % воды и получить кек с содержанием твердого вещества 35-65 %, т. е. обеспечивается максимально возможное сокращение объема осадка механическим способом.

Дальнейшее уменьшение объема обезвоженного осадка возможно только при использовании термических процессов. Сушка осадка обеспечивает его стабилизацию и обеззараживание.

Рисунок 12. Уменьшение объема осадка за счет его механической и термической обработки с помощью оборудования «ANDRITZ» (Австралия)



Высушенный осадок (гранулят) можно хранить, транспортировать, утилизировать, депонировать и использовать в качестве удобрения или для приготовления компоста, а также в качестве энергоносителя при сжигании. Последнее обеспечивается его теплотворной способностью. Полностью высушенный

осадок с содержанием сухого вещества более 90 % имеет теплотворную способность, схожую с теплотворностью бурого угля (~11 тыс. кДж/кг). Поэтому его можно применять в качестве вторичного топлива на угольных электростанциях и в установках по сжиганию мусора, а также добавлять к топливу на цементных и кирпичных заводах.

Для получения в дальнейшем пригодного для использования продукта процесс сушки осадка сточных вод не должен разрушать содержащиеся в нем полезные вещества. Для простоты складирования гранулат должен быть однородным и прочным. Для гарантированного безопасного хранения и биологической стабильности материала содержание сухого вещества должно составлять более 90%. Полученный продукт не должен содержать патогенные бактерии, т. е. должен соответствовать требованиям класса А.

Технологии сушки фирмы «АНДРИТЦ» - барабанная, в вихревом слое и ленточная соответствуют всем перечисленным выше критериям благодаря использованию конвективного метода сушки: осадок высушивается без прямого контакта с нагретой поверхностью потоками горячего и отработанного воздуха, а также пара. Осадок подвергается сушке в медленно вращающемся трехходовом барабане, что позволяет получить круглые и не содержащие пыли гранулы. В настоящее время самая крупная в мире барабанная сушильная установка монтируется в Сингапуре. Установка состоит из пяти линий барабанных сушилок «АНДРИТЦ» (DDS), каждая из которых может выпаривать 11 т/ч воды. Предварительно обезвоженный осадок (более 60 т/ч) превращается в продукт, который можно в дальнейшем использовать.

Характерной особенностью вихревой сушильной установки является движение гранулята, вызываемое перемещением потоков газа, проникающих через слой продукта. Осадок мягко высушивается при низких температурах. Сушильные установки такого типа рекомендуется применять в условиях, когда может быть использовано вторичное тепло. Крупнейшая вихревая сушильная установка, состоящая из одной линии, находится в г. Сустерен (Нидерланды). За один час эта установка превращает 11 т обезвоженного осадка в ценный продукт.

Ленточная сушильная установка работает при низкой температуре, период обработки осадка более продолжителен. Это гарантирует щадящий режим сушки материала. Особым преимуществом установки является возможность выбора теплоносителя в сочетании с гибкой настройкой оптимального технологического процесса. С 2003 г. в Европе продано 14 ленточных сушильных установок.

Энергонезависимая биогенная установка, работающая по технологии EcoDry, представляет собой комбинацию сушильной установки фирмы «АНДРИТЦ» с циклонной печью. Технология EcoDry для утилизации высушенного осадка

основана на использовании его же теплотворной способности и не требует дополнительных источников энергии.

Для интенсификации работы центрифуг, иловых площадок, различают обезвоживающих фильтров применяют добавки различных реагентов-коагулянтов и флокулянтов.

В связи с расширенным ассортиментом реагентов, предложенных к использованию, целесообразно на каждом объекте на основании сравнения различных коагулянтов и флокулянтов выбрать наиболее эффективный реагент для данных условий.

От полимерных флокулянтов на станции обезвоживания требуются: хорошая водоотдача, чистый фильтрат, устойчивость образованных флокул к внешним воздействиям. Не всегда один флокулянт может отвечать этим требованиям. Иногда приходится использовать в процессах сгущения и обезвоживания различные полимеры [50,51,52,53]

На сегодняшний день на узле механического обезвоживания сточных вод ОАО "Каустик в качестве реагента применяется катионный флокулянт марки "Праестол 853 BS". Катионные марки флокулянтов Праестол являются сополимерами акриламида с возрастающими долями катионных сомономеров. Внесенные ими в полимер катионные группы обладают в водном растворе положительными зарядами. Решающим фактором оптимального действия флокулянтов Праестол являются таким образом действующие на поверхностях частиц потенциалы. Они зависят как от самих частиц, так и от окружающих условий (рН, электрическая проводимость, жесткость и содержание взвешенных веществ)

Для ускорения (улучшения) процесса осаждения мелких примесей в первичных отстойниках промстоков ранее флокулянт "ВПК-402" был заменен на "Каустамин-15". Анализ работы очистных сооружений показал, что при использовании "Каустамин-15" качество сырого осадка, поступающего на обезвоживание на узел дозирования флокулянта "Праестол-853 BS" и далее в декандерные центрифуги, изменился. Сырой осадок, полученный добавлением "Каустамин-15" более рыхлый и легкий, чем осадок, получаемый при использовании флокулянта "ВПК-402".

По результатам серий экспериментов получено, что при таком качестве осадка возможно снижение расхода реагента "Праестол-853 BS" более чем в 3 раза без изменения степени его обезвоживания и улучшения качества очистки стоков. На сегодняшний день расходная норма коагулянта "Праестол-853 ВБ" составляет в среднем 6,5 — 7,5 кг/т по сухому веществ. При такой расходной норме образовавшиеся хлопья осадка крупные, тяжелые, что может быть причиной забивки деканторных центрифуг, в то же время они могут быть недостаточно обезвожены. Однако при снижении этой нормы почти в 3 раза, т.е. при норме 2 кг/т, получены

положительные результаты, хлопья также крупные, устойчивые, прозрачность фугата выше, чем при использующейся в настоящее время норме расхода.

Выявлено, что для процессов сгущения и обезвоживания наиболее эффективно последовательное использование флокулянтов "Каустамин-15" и "Праестол-853 BS", в результате которого наблюдается синергический эффект, выраженный в следующем. Вероятно, при первичном добавлении "Каустамин-15" происходит снижение устойчивости гидрофильных макромолекул вследствие взаимодействия их с аминогруппами Каустамин, находящимися на главной молекулярной цепи, путем образования "мостиковых" связей.

Вследствие этого происходит разрушение гидратных слоев, сформированных на поверхности дисперсной фазы, освобождение части коллоидно-связанной воды (что демонстрирует изменение качества осадка при добавлении Каустамин). При этом на главной цепи у каустамин находятся ОН-группы, которые при последующем добавлении Праестола вступают во взаимодействие с положительно заряженными активными центрами макромолекулы флокулянта. Следовательно, при добавлении Каустамин образуются первичные флокулы небольшого размера, которые при добавлении Праестола образуют вторичные флокулы, по размерам превосходящие первичные и оседающие с большей скоростью.

Серия экспериментов показала, что применение смеси реагентов обеспечивает следующие преимущества:

- снижается расход реагента "Праестол-853 BS" до 2 кг/т сухого вещества;

- улучшается эффективность очистки промстоков на БОС ОАО "Каустик";

- снижаются затраты на закупку дорогостоящего флокулянта "Праестол 853 BS" в 15-30 раз;

- увеличивается плотность коагулированной взвеси, ускоряется хлопьеобразование и осаднения хлопьев;

- возрастает глубина очистки воды за счет лучшего отделения

- в осадок коагулированной взвеси;

- расширяется область оптимальных значений pH;

- существенно улучшается процесс обезвоживания осадков в холодное время года, так как осадок при высокой температуре подвергается брожению.

4.3 Обезвоживание осадков на фильтровальных установках различных конструкций.

В настоящее время в технологических процессах обработки осадков водоочистных сооружений широкое распространение получил метод механического обезвоживания с применением ленточных фильтр-прессов непрерывного действия. Как показывает опыт эксплуатации такого типа оборудования, ленточные фильтр-прессы обеспечивают высокую технологическую эффективность в процессах

обезвоживания осадков, не имеют быстровращающихся узлов и деталей, удобны в эксплуатации и техническом обслуживании, не требуют больших затрат энергии.

НПФ «Экотон» совместно с НПО «ЛИТ» разработана техническая документация для промышленного производства типоразмерного ряда ленточных фильтр-прессов и сетчатых сгустителей ленточного типа. Производство оборудования осуществляется НПФ «Экотон». [62,63]

Технические данные выпускаемого оборудования представлены в табл.11.

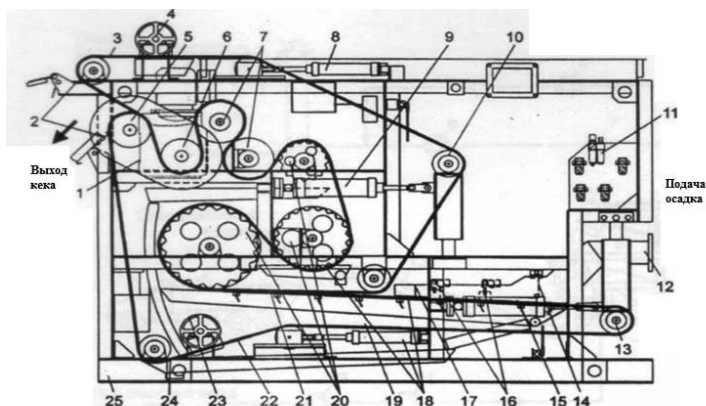
Принципиальные схемы ленточных фильтр-прессов представлены на рис. 13 и 14. Ленточные фильтр-прессы ПЛ-8 конструктивно отличаются от фильтр-прессов серий ПЛ-12 - ПЛ-25. Подача исходного осадка на ленточные фильтр-прессы серии ПЛ-8 (рис. 13) осуществляется в нижней его части, а отведение обезвоженного осадка - в верхней части. Фильтр-прессы ПЛ-8 имеют шесть отжимных валов и роликов, при этом первые три вала по ходу движения фильтровальных лент - перфорированные.

Ленточные фильтр-прессы серий ПЛ-12 - ПЛ-25 (рис. 14) конструктивно характеризуются расположением зоны гравитационного, фильтрования и местом подачи исходного осадка на обезвоживание в верхней части фильтр-прессов, что позволяет удобно блокировать их с ленточными сгустителями в варианте компоновки «КОМБИ». Ленточные фильтр-прессы ПЛ-12 - ПЛ-25 снабжены специальной «арочной» зоной отжима осадка, позволяющей наиболее эффективно подготовить предварительно сгущенный осадок к последующему обезвоживанию под действием давления отжима при прохождении фильтровальных сеток с осадком по системе последовательно расположенных валов и роликов. Фильтр-прессы таких серий имеют 11 отжимных валов и роликов.

Таблица 11. Ленточные фильтр-пресса НПФ «Экотон»

Тип оборудования	Производительность		Габариты, мм			Расход технической воды, м ³ /ч	Масса, кг	Мощность, кВт
	по сухому веществу, т/ч	м ³ /ч	длина	ширина	высота			
ПЛ-8	0,1-0,15	2,5-5	3100	1550	2150	8	2500	1,1
ПЛ-12	0,15-0,25	5-8	4050	2135	1940	10	5300	2,2
ПЛ-16	0,2-0,5	8-15	4050	2430	1940	12	5500	2,2
ПЛ-20	0,6-0,8	15-25	4050	2830	1940	15	6000	2,2
ПЛ-25	0,7-0,9	25-40	4050	3448	1940	20	7000	3
ПЛ-16 «КОМБИ»	0,5-0,7	15-30	4050	2470	3400	18	6600	3,7
ПЛ-25 «КОМБИ»	0,9-1,2	25-50	4050	3495	3400	25	8700	5

Рис. 13. Принципиальная схема ленточного фильтр-пресса ПЛ-8



1 - электропривод; 2 - ножи для снятия осадка; 3 - верхняя ситовая лента; 4 - узел промывки верхней ленты; 5 - вал ведомый; 6 - вал ведущий; 7 - прочие отжимные валы; 8- пневмоцилиндр управления верхней лентой; 9- пневмоцилиндр натяжения верхней ленты; 10 - вал натяжения верхней ленты; 11 - маслораспределитель; 12- приемная камера подачи осадка; 13- вал натяжения нижней ленты; 14- регулирующая перегородка; 15 - пневмоцилиндр натяжения нижней

ленты; 16 - устройство перемешивания и разрыхления; 17 - гравитационная зона; 18 - поддоны отвода фильтрата; 19 - пневмоцилиндр управления нижней лентой; 20 - валы рифленые; 21 - клиновидная зона; 22- нижняя ситовая лента; 23- узел промывки нижней ленты; 24 - отвод фильтрата и промывной воды; 25- рама

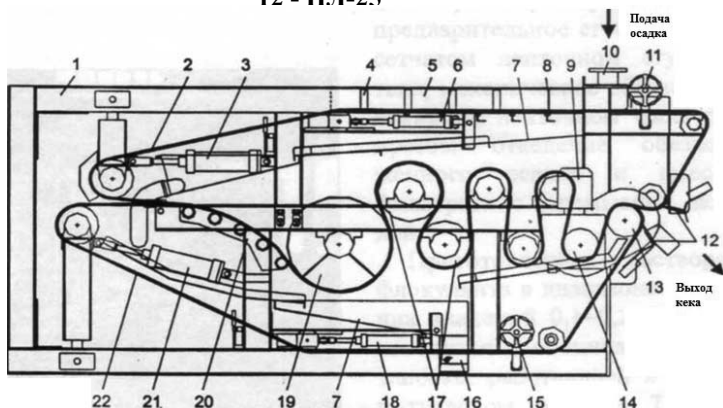
Общие дополнительные данные по выпускаемым ленточным фильтр-прессам: для интенсификации процесса предварительного сгущения осадков зона гравитационного фильтрования снабжена специальными рыхлителями, расположенными относительно друг друга в шахматном порядке; система регулировки параллельности движения фильтровальных лент и степени их натяжения - пневматическая; отжимные валы и ролики снабжены двухрядными сферическими роликовыми подшипниками; валы и ролики выполнены с антикоррозионным покрытием, рама ленточного фильтр-пресса из оцинкованной стали. Узлы регенерации фильтровальных лент промывной водой снабжены устройствами для механической прочистки форсунок; боковые поверхности фильтр-прессов закрыты специальными пластиковыми щитами, которые при осмотре и обслуживании могут быстро сниматься; в базовом варианте фильтр-прессы снабжены фильтровальными сетками отечественного производства с соединительными замками типа «клеппер».

Ленточные фильтр-прессы поставляются, в комплекте с пультом управления, одновинтовыми насосами-дозаторами осадка и рабочего раствора флокулянта, центробежным насосом высокого давления для подачи воды на регенерацию фильтровальных лент, электромагнитными расходомерами для подаваемого на обезвоживание осадка и рабочего раствора флокулянта, установкой приготовления рабочего раствора флокулянта компрессором. Дополнительно могут поставляться: сетчатые ленточные транспортеры для отведения обезвоженного осадка и мацераторы (дезинтеграторы) осадка. Управление комплексом обезвоживания осадка может производиться в автоматическом или ручном режимах с пульта управления.

Принципиальная технологическая схема обезвоживания осадков представлена на рис. 15. Основные технологические стадии обезвоживания осадков включают: отведение осадка из водоочистных сооружений; усреднение по составу и концентрации; реа-гентную обработку осадка рабочим раствором флокулянта; предварительное сгущение на сетчатом ленточном сгустителе; механическое обезвоживание на ленточном фильтр-прессе; отведение обезвоженного осадка и, смеси фильтрата с промывной водой.

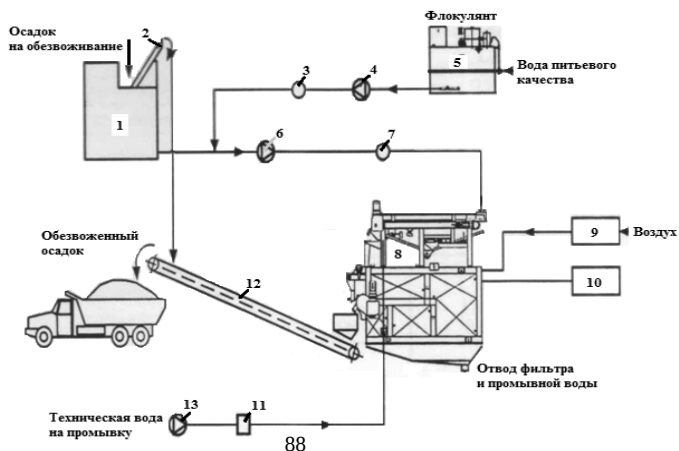
Приготовление раствора флокулянта в диапазоне рабочих значений 0,1-0,2% производится в специальной установке, работающей в автоматическом режиме. Тип и требуемый рабочий объем установок приготовления раствора флокулянта в каждом случае определяются для конкретных условий и зависят от рабочей дозы флокулянта, продолжительности работы узла обезвоживания осадков, значения требуемой концентрации приготавливаемого раствора.

Рис. 14. Принципиальная схема ленточного фильтр-прессов ПЛ-12 - ПЛ-25



1 - каркас; 2- верхняя ситовая лента; 3- пневмоцилиндр натяжения верхней ленты; 4 - устройство перемешивания и разрыхления осадка; 5 - зона гравитационного обезвоживания осадка; 6- пневмоцилиндр управления верхней лентой; 7- поддоны отвода фильтрата; 8 - регулируемая перегородка; 9 - электропривод (мотор-редуктор); 10- приемная камера подачи осадка; 11 - устройство промывки верхней ленты; 12 - ножи для снятия осадка; 13 - валец ведомый; 14 - валец ведущий; 15 -устройство промывки нижней ленты; 16- отвод фильтрата и промывной воды; 17-прочие отжимные вальцы; 18 - пневмоцилиндр управления нижней лентой; 19 - валец отжимной перфорированный; 20 - зона предварительного отжатия; 21 - пневмоцилиндр натяжения нижней ленты; 22- нижняя ситовая лента.

Рис. 15. Принципиальная технологическая схема механического обезвоживания осадков



1 - усреднитель (емкость); 2 - ступенчатая решетка; 3 - расходомер флокулянта; 4 - насос флокулянта; 5 - станция приготовления флокулянта; 6 - насос осадка; 7 - расходомер осадка; 8 - фильтр-пресс со сгустителем; 9 - компрессор; 10 - шкаф управления; 11 - фильтр-грязевик; 12- ленточный транспортер; 13- насос промывной воды

Процесс приготовления раствора производится путем смешивания товарного порошкообразного флокулянта с водой питьевого качества или технической водой. Условия смешивания рабочего раствора

Регенерация фильтровальных лент производится технической водой. флокулянта с осадком определяются экспериментальным путем для конкретных условий. Для предотвращения возможности засорения форсунок узла регенерации фильтровальных лент дополнительно на всасывающей линии устанавливаются сетчатые фильтры-грязевики. Подача воды на регенерацию производится с помощью повысительного центробежного насоса под давлением не менее 0,6 МПа.

По согласованию с заказчиком дополнительно могут поставяться мацераторы для размельчения крупных включений в подаваемом на обезвоживание осадке, которые устанавливаются на всасывающей линии перед насосом-дозатором осадка.

В табл. 12 представлены обобщенные технологические показатели результатов эксплуатации ленточных фильтр-прессов НПФ «Экотон» на сооружениях очистки сточных вод, в том числе на очистных сооружениях пос. Голицыно (Московская область, ввод в эксплуатацию 2004 г.); очистных сооружениях г. Асбеста (Свердловская область, ввод в эксплуатацию 2004 г.); очистных сооружениях г.Шексна (Вологодская область, ввод в эксплуатацию 2005 г.)

Рассматривается актуальная проблема сокращения объемов осадков сточных вод и соответственно отводимых под их хранение площадей. Описываются специфические сложности на канализационных очистных сооружениях курортных городов акватории Черного и Азовского морей, связанные со значительными сезонными колебаниями объемов поступающих сточных вод. Предлагается оригинальный экономичный способ обезвоживания осадков с использованием компактного комплекса на базе ленточного фильтр-пресса ПЛ-6К, производства НПФ «Экотон»[54]. Использование компактного комплекса механического обезвоживания осадка позволит обезвоживать не только осадок с городских очистных сооружений, но и осадки канализационных очистных сооружений групп близлежащих поселков без необходимости строительства отдельных цехов механического обезвоживания или транспортировки больших объемов осадков в стационарные цеха.

Таблица 12. Результаты работы ленточных фильтр-прессов.

Показатель	Очистные сооружения канализации		
	пос. Голицыне	г. Асбест	г. Шексна
Тип ленточного фильтр-пресса	ПЛ-16	ПЛ-16	ПЛ-8
Количество рабочих установок	1	1	1
Тип обезвоживаемого осадка	Смесь сырого осадка и активного неуплотненного ила влажностью 97-98 %	Сырой осадок влажностью 96,6-98,4 %; аэробно-стабилизированный избыточный ил влажностью 97,8-99,1 %	Смесь сырого осадка и активного ила влажностью 94-95 % из резервуаров-перегнивателей
Производительность ленточного фильтр-пресса по исходному осадку: м ³ /ч т/ч	14-16 0,3-0,4	17,5-19,7 0,35-0,5	3-5 0,18-0,25
Рабочая доза флокулянта, кг/т сухого вещества	3,5-4	2,5-3,5	3-3,2
Катионный флокулянт	Суперфлок, Праестол, Зетаг	Праестол	Зетаг, Праестол
Влажность обезвоженного осадка, %	76-80	78,3-80,4	75-78

Для таких методов утилизации осадка, как рекультивация открытых карьеров или компостирование осадка с целью последующего сельскохозяйственного использования, очень глубокое обезвоживание осадка (ниже 50%) нецелесообразно. Снижение объемов почти в 2 раза и улучшение физико-механических свойств обезвоженных до 50% осадков делают почвенную утилизацию таких осадков весьма привлекательной.

При термической утилизации осадка более глубокое его обезвоживание позволяет использовать автотермичность процесса горения. При наличии внешнего источника тепловой энергии (газ или мазут) процессы сушки и сжигания осадка можно проводить в одну стадию. При этом процесс сжигания будет состоять из нескольких фаз: затраты тепла на подогрев осадка до температуры 100 °С; испарение воды; дальнейший разогрев сухого вещества до температуры сгорания 650-800 °С; разогрев массы режимного воздуха до температуры 650-800 °С; горение с выделением тепла.

Для обеспечения автотермичности процесса горения затраты тепла в фазе подготовки осадков к сжиганию не должны превышать количество выделенного тепла в фазе горения (с учетом тепловых потерь).

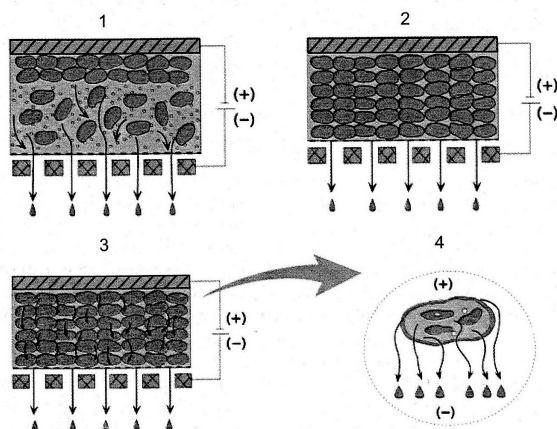
Основными параметрами, влияющими на теплотехнические показатели процесса сжигания осадка, являются зольность и влажность. Анализ взаимосвязи

этих параметров показывает, что при содержании золы около 45% влажность осадков сточных вод, подаваемых на сжигание, должна быть близка к 55%. Для достижения такой влажности осадок необходимо подвергать сушке. При этом аппаратное обеспечение может быть весьма разнообразным (турбосушки, дисковые, барабанные, ленточные сушки, «кипящий слой» и т. п.), но должно подтверждать техническую и экономическую целесообразность используемой технологической схемы. Лучшие образцы сушек обеспечивают расход тепла 750-850 ккал/кг испаренной влаги (0,9-1 кВт-ч/кг). Это означает, например, что для снижения влажности осадка, содержащего 1 т абсолютно сухого вещества и 4 т воды, с 80 до 55% потребуется испарить 2,78 т воды и затратить на испарение 2 224 000 ккал тепловой энергии, что эквивалентно затратам 2587 кВт-ч электроэнергии, либо сжиганию 262 м³ природного газа, либо сжиганию 218 кг дизельного топлива или мазута.

Таким образом, для безопасной утилизации осадка, образованного в процессе очистки городских сточных вод, технически и экономически целесообразно снижение влажности обезвоженных осадков до 50%.

Целью настоящей работы [55], является апробация нового, более экономичного способа уменьшения объема и массы осадков сточных вод после обезвоживания - электроосмотического удаления влаги. В основе этого метода лежат широко известные явления электрофореза (направленное движение заряженных частиц коллоидных систем в жидкой среде под действием внешнего электрического поля) и электроосмоса (движение влаги через капилляры или поры под влиянием постоянного электрического тока в сторону падения электрического потенциала). В настоящее время для реализации процесса электроосмоса используются установки ELODE® (Electro Osmosis Dehydrator). Процесс электроосмотического обезвоживания проходит несколько характерных этапов (рис. 16):

Рисунок 16. Этапы электроосмотического процесса ELODE®



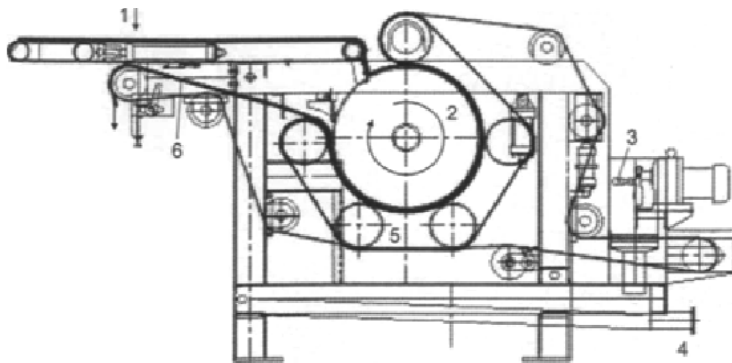
- 1 - отрицательно заряженные (-) частицы осадков передвигаются к аноду;
- 2 - вода, выделенная электроосмосом, фильтруется через сетку со стороны катода;
- 3 - связанная вода осадков перемещается к катоду под действием капиллярного давления;
- 4 - разрушение клеточных мембран осадков позволяет выпустить связанную воду.

При проведении процесса электроосмотического обезвоживания температура осадка повышается до 60—80 °С, в результате чего происходит разрушение клеточных оболочек живых организмов и, как следствие, обеззараживание. С помощью этого метода влажность предварительно обезвоженного осадка может быть снижена еще на 25—35% без применения реагентов.

В настоящее время он промышленно освоен и широко применяется в строительстве (осушение грунтов, водопонижение, осушение стен и фундаментов и т.п.), производстве строительных и отделочных материалов (подготовка сырья для высококачественных керамических изделий), пищевой промышленности (концентрирование жидких продуктов, водные вытяжки).

Серийный выпуск оборудования для непрерывного электроосмотического обезвоживания осадков сточных вод ELODE® первой в мире освоила южнокорейская компания SAMWOO INTECH Co., Ltd. (2004 г.). В настоящее время имеется положительный опыт эксплуатации целого ряда установок ELODE® в различных отраслях промышленности в Южной Корее и Японии. Принципиальная схема установки ELODE® приведена на рис. 17.

Рис.17. Схема работы установки ELODE®



- 1 - подача исходного осадка на транспортер; 2 - анод (барабан); 3 - промывка ленты; 4 - отвод фильтрата и промывных вод; 5 - катод («гусеница»); 6 - фильтровальная лента с дополнительным осадком

Основными элементами установок ELODE® являются анод (барабан) и катод (гусеничного типа). Исходный, предварительно обезвоженный осадок направляется транспортером на фильтровальную ткань между анодом и катодом. На электроды подается постоянное напряжение 40—90 В от выпрямителя, расположенного в шкафу управления. Напряжение и ток регулируются, что позволяет подобрать режим обработки, наиболее подходящий для данного типа осадка. В межэлектродном пространстве осадок разогревается до температуры 60-80 °С.

Испарения от установки отводятся через воздухозаборный зонт и направляются на очистку. Фильтрат собирается в поддон и отводится от установки. Обезвоженный осадок снимается с сетки скребком и поступает на транспортер. Сетка промывается водой, подаваемой насосом высокого давления через форсунки. Процесс электроосмотического обезвоживания происходит непрерывно и регулируется с помощью шкафа управления, где расположены выпрямитель, органы управления, сигнализации и индикации. Установки EEOOE® производятся в двух основных вариантах:

отдельное устройство (серия БЕЕО), размещаемое после оборудования механического обезвоживания (ленточных фильтр-прессов, вакуум-фильтров, центрифуг и т. п.);

составная часть ленточного фильтр-пресса или гравитационного стола на единой раме (серия БЕЕО).

Установки EEOBE® имеют ширину полотна от 500 до 3000 мм. Для осадков с исходной влажностью не более 80% (в зависимости от структуры и свойств осадка) удельная производительность установок составляет до 0,4 т/ч по сухому веществу на один метр ширины полотна. Удельные затраты электроэнергии составляют 250-300 кВт·ч/т по сухому веществу, или 180 кВт·ч/т удаляемой влаги. По сравнению с методом термической сушки осадка энергетические затраты при электроосмотическом обезвоживании ниже в 5-6 раз.

Установки ELODE® сертифицированы в Евросоюзе и Российской Федерации (информация на сайте www.ELODE.co.kr).

В сентябре-декабре 2008 г. в цехе механического обезвоживания осадков Люберецких очистных сооружений Москвы были проведены пилотные испытания экспериментальной установки DEMO SELO-1000 с барабаном диаметром 688,4 мм и шириной полотна 1000 мм. Целью этих испытаний являлось изучение возможностей нового вида оборудования в условиях реально действующих очистных сооружений. В качестве исходного материала для дополнительного обезвоживания использовался осадок после механического обезвоживания на камерном фильтр-прессе.

Исходный осадок (влажностью приблизительно 78% после механического обезвоживания) направлялся в приемный бункер объемом 0,2 м³, из которого шнековым насосом подавался на транспортер электроосмотической установки. Для

равномерной подачи осадка на ленту транспортера было изготовлено специальное устройство в виде щелевого раструба.

В результате экспериментов было установлено, что на конечную влажность осадка наибольшее влияние оказывает скорость вращения барабана или продолжительность контакта осадка с электродами.

Промышленные испытания, проведенные в цехе механического обезвоживания осадков Люберецких очистных сооружений Москвы, подтвердили расчетную производительность и параметры процесса электроосмотического обезвоживания осадка. Влажность осадка сточных вод 50-60 % достигалась при напряжении 60-85 В и токе 750-1060 А, скорости движения поверхности барабана 2-2,5 м/мин, что соответствует производительности 1,2-1,5 м³/ч исходного осадка влажностью 75-78% на 1 м ширины ленты. Объем осадка после электроосмотической установки сократился в 2,2-2,4 раза по сравнению с исходным количеством осадка.

Для предварительного сгущения перед подачей на обезвоживающее оборудование обработанный флокулянт осадок направляется на сетчатые гравитационные сгустители ленточного и барабанного типа. Практический опыт применения технологий обработки осадков на сетчатых сгустителях показывает, что в ряде случаев можно исключить технологическую стадию предварительного уплотнения осадков, при этом влажность осадка должна составлять не более 99,5%.

В связи с предстоящим вводом в действие Федерального закона «О коммунальном водоотведении» особое внимание необходимо уделять технологическим процессам механического обезвоживания осадков на промышленных аппаратах с обеспечением влажности обезвоженного осадка не более 75%. В настоящее время для этой цели применяются в основном ленточные и камерные фильтр-прессы и центрифуги различных конструкций и диапазонов производительности. [56,57,58,59,60]

Ленточные фильтр-прессы различной производительности широко используются для механического обезвоживания осадков хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, а также осадков природных вод, образующихся на станциях обезжелезивания и сооружениях очистки речной воды с высоким значением мутности и низким значением цветности. Обезвоженные на ленточных фильтр-прессах осадки характеризуются низкой влажностью, а эффективность задержания сухого вещества осадка, как правило, составляет 96-99%.

С целью снижения водопотребления цехов механического обезвоживания с сетчатыми сгустителями и ленточными фильтр-прессами для регенерации фильтрующих поверхностей оборудования применяется технология оборотного водоснабжения с очисткой образующегося фильтрата. Система оборотного водоснабжения линии регенерации фильтровальных лент позволяет значительно снизить общий объем возвратных технологических потоков, отводимых из цехов

механического обезвоживания с ленточными фильтр-прессами на очистные сооружения, и сократить потребление дополнительных объемов воды.

Камерные фильтр-прессы находят применение на ряде сооружений очистки производственных сточных вод, на которых образуется осадок минерального происхождения, а также на очистных сооружениях большой производительности (Курьяновские и Люберецкие очистные сооружения Москвы). Преимущества камерных фильтр-прессов - высокая производительность, низкая влажность обезвоженного осадка. Недостатки - периодический режим работы оборудования (из-за необходимости прекращения подачи осадка на оборудование в период удаления из фильтрпресса обезвоженного осадка); возможность налипания обезвоженного осадка на фильтрующие салфетки; большая масса оборудования.

Специалистами НИИ ВОДГЕО разработана и внедрена технология обезвоживания осадков сооружений водоочистки малой производительности с применением установок с мешочными фильтрами «УМО» в комплекте от 3 до 12 единиц.

В соответствии с действующими нормативными документами, перед отведением обезвоженных осадков хозяйственно-бытовых и ряда производственных сточных вод на утилизацию необходимо их обеззараживание. Для этого НИИ ВОДГЕО считает наиболее целесообразным применение химического и биотермического методов, а также овицидного препарата «ПУ-РОЛАТ-БИНГСТИ».

В технологиях подготовки к утилизации осадков сточных вод, содержащих органические вещества и относящихся к четвертому классу опасности, на практике реализуется метод их биотермической обработки с последующим использованием компоста в качестве органического удобрения для применения в зеленом городском хозяйстве, лесоводстве, цветоводстве, для рекультивации нарушенных земель, свалок и др. Как альтернативный вариант, обезвоженные осадки могут размещаться обособленно на специально обустроенных полигонах (монопонирование) или совместно с твердыми бытовыми или промышленными отходами.

Камерные и мембранные фильтр-прессы все чаще находят применение на очистных сооружениях. За счет усовершенствования их конструкции сокращается продолжительность фильтрации, обеспечивается полностью автоматический режим работы, эффективнее используется электроэнергия, повышается степень механического обезвоживания.

Компания «АНДРИТЦ» разработала фильтр-прессы, собранные по модульному принципу, что позволяет осуществлять работу во всех возможных режимах: от простого ручного управления до полностью автоматизированного. [61]

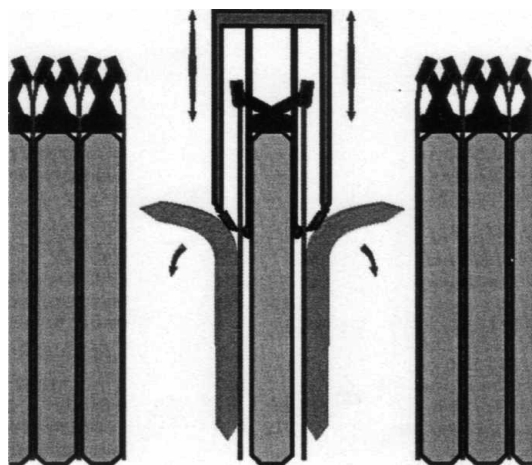
Фильтр-пресс может оснащаться дополнительными модулями: системой автоматического перемещения плит в различных исполнениях; устройством для

автоматической промывки фильтровальных салфеток; вспомогательным устройством для выгрузки кека в виде скребкового механизма или механизма встряхивания.

Сегодня компания «АНДРИТЦ» предлагает еще одну собственную разработку: автоматическое скребковое устройство для сброса обезвоженного осадка, что делает конструкцию фильтр-пресса оптимальной. (Рис.18)

Технология выгрузки осадка с помощью скребкового устройства используется уже более 12 лет. Благодаря постоянному совершенствованию конструкции предлагается прочное, абсолютно надежное оборудование.

Рисунок18. Принцип работы скребкового устройства



Скребок работает следующим образом. После открытия фильтр-пресса скребковое устройство перемещается к рабочему отверстию. Первая фильтровальная плита располагается под скребком и затем фиксируется. Фильтровальные салфетки с налипшим на них кеком раздвигаются с помощью хомута, после чего скребки перемещаются вертикально сверху вниз и очищают фильтровальные салфетки от кека. Упор под фильтровальной салфеткой обеспечивает полную очистку ткани скребком. Далее фильтровальная плита перемещается в конечное положение, и для очистки подводится следующая плита.

Благодаря использованию новейшей сервосистемы гарантируется оптимальное перемещение узлов. Так, например, после отделения кека от салфетки скребковое устройство возвращается в исходное положение с ускорением. Тем самым гарантируется сокращение времени разгрузки и обеспечивается полностью автоматическая работа машины без оператора.

По состоянию на декабрь 2008 г. было изготовлено и поставлено 53 фильтр-пресса со скребковым устройством для различных областей применения, например, для обезвоживания коммунального осадка (сброженный осадок и осадок после биологической очистки), осадка от водоподготовки, шламов гальванического и гидрок-сидного производства, а также для фильтрации рыбьего жира и продуктов химического и фармацевтического производства.

В последнее время на очистных сооружениях водопроводно-канализационного хозяйства городов и промышленных предприятий широкое распространение получает технология механического обезвоживания осадков с применением ленточных фильтр-прессов непрерывного действия. Практический опыт использования такого оборудования показывает, что ленточные фильтр-прессы просты в эксплуатации, не имеют быстро вращающихся узлов и деталей, обладают низкой энергоемкостью (мощность установок не более 3-5 кВт) и не требуют высокого расхода реагентов. Содержащиеся в обезвоживаемых осадках абразивные включения не оказывают негативного влияния на эффективность работы ленточных фильтр-прессов и срок их эксплуатации. Обезвоженные с помощью ленточных фильтр-прессов осадки характеризуются низкими значениями влажности, а эффективность задержания сухого вещества осадка, как правило, составляет 96-99 %.

Эффективность работы ленточных фильтр-прессов в первую очередь зависит от категории подаваемого на обезвоживание осадка, его водоотдающих свойств, типа и рабочей дозы применяемого реагента, технологических стадий подготовки осадка к механическому обезвоживанию. Открытый доступ к фильтровальным поверхностям оборудования позволяет визуально оценивать эффективность технологического процесса и при необходимости корректировать объемный расход подаваемого на обезвоживание осадка и (или) рабочего раствора реагента, скорость движения фильтровальных лент и величину их рабочего натяжения. Ленточные фильтр-прессы, используемые в настоящее время на сооружениях водопроводно-канализационного хозяйства, конструктивно различаются шириной фильтровальных лент (500-3000 мм), количеством отжимных валов и роликов, расположением зоны предварительного гравитационного фильтрования (место подачи исходного осадка), которая может находиться в верхней или нижней части ленточного фильтр-пресса и, соответственно, нижним или верхним расположением ножей для съема обезвоженного осадка с фильтровальных лент.

Для оснащения ленточных фильтр-прессов используются синтетические фильтровальные ленты с петельными соединениями «клеппер», различающиеся между собой типом синтетического : материала, толщиной нитей (лески), размерами ячеек по утку и основе, значением разрывной нагрузки и плотностью, которая может изменяться в широком диапазоне значений. Требуемый тип ленты уточняется для конкретных условий экспериментальным путем на стадии технологических

изысканий. При этом также определяются кинетика водоотдачи обработанного реагентом осадка через фильтровальную сетку на стадии гравитационного фильтрования, возможность продавливания осадка через сетки при его отжиме, эффективность ножевого отделения обезвоженного осадка от фильтровальной ленты, условия регенерации загрязненной фильтровальной сетки водой, значения влажности сгущенного (на стадии гравитационного фильтрования) и отжатого (обезвоженного) осадка и концентрации взвешенных веществ в фильтрате.

Для снижения гидравлической нагрузки на оборудование, повышения концентрации сухого вещества в осадке и эффективности процесса механического обезвоживания осадков рекомендуется применение сетчатых гравитационных сгустителей ленточного и барабанного типов.[64] Процесс предварительного сгущения осадков на таком оборудовании реализуется в непрерывном режиме путем фильтрования предварительно обработанного реагентом осадка через синтетическую сетку под действием сил гравитации.

На ленточных сгустителях исходный осадок подается на поверхность фильтровальной лентой, перемещаясь вместе с лентой подвергается сгущению за счет гравитационного фильтрования. С целью интенсификации процесса, над поверхностью ленты в шахматном порядке устанавливаются специальные рыхлители осадка. Для натяжения фильтровальной ленты и предотвращения ее «сползания» в сторону ленточные сгустители оборудуются системой пневмо-цилиндров и компрессором.

Сгущение осадка в барабанных сгустителях производится за счет его подачи во внутреннюю полость барабана и фильтрования через жестко закрепленную фильтровальную сетку, при этом осадок перемещается по внутренней полости вращающегося барабана и подвергается постоянному рыхлению, что обеспечивает высокую эффективность его сгущения. Учитывая конструктивные особенности барабанных сгустителей, необходимо отметить, что системы центрирования и натяжения фильтрующей сетки на таких аппаратах не требуются.

Применение сетчатых сгустителей позволяет сократить количество основного обезвоживающего оборудования за счет возможности снижения объема исходного осадка и, следовательно, затраты на приобретение необходимого оборудования. Практический опыт использования технологий обработки осадков с сетчатыми сгустителями показывает, что в ряде случаев можно исключить технологическую стадию предварительного уплотнения осадков, при этом влажность подаваемого на сетчатые сгустители осадка должна составлять не менее 99,2-99,4 %.

Как показывает опыт, применение сетчатых сгустителей в технологических процессах механического обезвоживания различных категорий осадков наиболее целесообразно в комбинации с ленточными фильтр-прессами. В таком случае сгущенный осадок подается на ленточный фильтр-пресс в самотечном режиме без

дополнительной стадии его обработки раствором реагента. При использовании сетчатых сгустителей совместно с центрифугами или камерными фильтр-прессами сгущенный осадок необходимо предварительно подавать в накопительную емкость и далее в напорном режиме направлять на установки механического обезвоживания. В ряде случаев требуется дополнительная обработка сгущенного осадка раствором реагента. Сетчатые сгустители также могут использоваться как основное оборудование при подготовке осадков к анаэробному сбраживанию в метантенках, обезвоживанию на иловых площадках и в других технологических процессах.

С целью снижения водопотребления цехов механического обезвоживания, оснащенных сетчатыми сгустителями и ленточными фильтр-прессами, внедрена технология оборотного водоснабжения для регенерации фильтрующих поверхностей оборудования. Для этого используется фильтрат, образующийся на стадии фильтрования осадка под действием сил гравитации, который далее подвергается очистке на специальной установке с последующей подачей в узлы (форсунки) регенерации фильтрующих поверхностей сгустителей и ленточных фильтр-прессов.

Как показывает практический опыт, на стадии гравитационного фильтрования (сгущения осадка) объем образующегося фильтрата в среднем составляет 50-80 % объема подаваемого на обезвоживание осадка, что полностью обеспечивает потребность в воде для регенерации фильтрующих поверхностей оборудования, которая в среднем составляет 5-20 м³/ч в зависимости от ширины регенерируемых фильтровальных лент при давлении технической воды в напорном трубопроводе не менее 0,6 МПа. Система оборотного водоснабжения линии регенерации фильтровальных лент позволяет снизить общий объем возвратных технологических потоков, отводимых , из цехов механического обезвоживания, оборудованных ленточными фильтр-прессами, на очистные сооружения реагента, его доза, концентрация рабочего раствора. Значительное влияние на условия смешивания осадка с эффективностью обезвоживания раствором реагента. Опыт внедрения технологий обезвоживания осадков показывает, что для городских сточных вод наиболее целесообразно применение катионных флокулянтов, при обработке природных вод - катионных или анионных флокулянтов, в ряде случаев необходимо дополнительно использовать щелочные реагенты в сочетании с флокулянтами. При реагентной обработке осадков различных категорий производственных сточных вод применяются флокулянты анионного или катионного типа, минеральные реагенты на основе солей алюминия или железа, известковое молоко, при этом возможно использование как одного типа реагента, так и их сочетаний. Тип реагентов, их рабочие дозы, концентрации рабочих растворов, условия приготовления и применения: определяется экспериментальным путем для конкретных условий.

В таблице 12 представлены обобщенные данные по технологическим параметрам обезвоживания различных категорий осадков с применением комплектных установок «сетчатый стгуститель + ленточный фильтр-пресс». Данные получены в экспериментальных условиях и при трактическом внедрении техноггий обработки осадков на очистных сооружениях водопроводно-канализационного хазайства городов и промышленных предприятий. Как видно из таблицы, применение такого вида оборудования обеспечивает высокую эффективность обезвоживания различных категорий осадков с доведением их до нетекучего, транспортабельного состояния. Необходимо отметить, что результаты технологических изысканий по схемам обработки осадков и реально получаемые показатели работы сооружений и оборудования в процессе их эксплуатации на объектах водоочистки по своим технологическим значениям сопоставимы, что позволяет на основании разработанных методик осуществлять полный: комплекс технологических решений по обработке осадков для конкретных объектов.

Таблица 12. Обезвоживание осадков с применением комплексных установок.

Осадок	Технологические стадии		Доза флокулянта, кг/т				Производительность по сухому веществу осадка, кг/(м·ч)
	очистки поды	подготовки осадка к обезвоживанию		усредненного	сгущенного	обезвоженного	
Сооружения очистки городских сточных ВОД							
Сырой	Механическая	Усреднение Реагентная обработка	1,5-3,5	95-97,5	-	68-75	350-600
Уплотненный активный ил	Биологическая	Усреднение Реагентная обработка Сгущение	3,5-6	97,5-98,8	93-94,6	80-85	100-300
Смесь сырого осадка и неуплотненного активного ила	Механическая Биологическая		2,5-4,5	99,2-98,5	92,2-94	74,8-79,2	150-450
Смесь сырого осадка и уплотненного активного ила	Механическая Биологическая		3-4	96,2-97,3	90,4-92,5	72,2-78,1	350-600
Сооружения очистки природных вод							
Высокоцветных мало-мутных природных вод из поверхностного водоисточника		Усреднение Уплотнение Корректировка Реагентная обработка Сгущение	3,5-5,50	99,2-97,5	93,2-94	80,5-85,2	200-350
Малоцветных высокомутных природных вод из поверхностного водоисточника		Усреднение Уплотнение Реагентная обработка	3-5	97-98,5	91,4-94	46,5-80,5	250-400
Природных вод из подземного водоисточника		Сгущение	2,5-3,5	96-98,5	91,5-93,5	76,5-80	250-400
Сооружения очистки производственных сточных вод							
Сточных вод: кожевенной промышленности	Механическая Физико-химическая	Усреднение Реагентная обработка Сгущение	2,5-3	95,5-97	83,5-85,5	64,3-67,8	450-600
производства бумаги			2-3,5	96-97,5	90,5-91,3	68,2-73,4	360-500

Глава 5.

Термическая обработка осадков сточных вод и производственных шламов.

Господи!

Дай мне разум и душевный покой

Принять то, что я не в силах изменить

Дай мне мужество изменить то, что я могу.

И дай мне мудрости отличить одно от другого.

Молитва.

5.1 Термическая сушка осадков сточных вод и производственных шламов.

Термическая обработка позволяет в несколько раз снизить массу и объем осадка (Рис.12), получить сухой сыпучий продукт, полностью освобожденный от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Осадки после термической обработки, в зависимости от их состава, могут быть использованы как органоминеральное удобрение, либо в качестве кормовой добавки к рациону некоторых животных, либо как присадочный материал при обезвоживании и сушке осадка, а также в качестве твердого топлива и строительного материала.

Термическая сушка обезвоженного осадка. Для термической сушки осадка применяют сушилки различных конструкций: барабанные, ленточные, пневматические, вальцовые, сушилки со взвешенным слоем, и др.

Во всех типах сушилок, кроме вальцовой, использован конвективный способ сушки, при котором тепловая энергия, необходимая для испарения влаги, непосредственно передается от теплоносителя осадку.

В качестве теплоносителя или сушильного агента чаще всего используются топочные газы с температурой от 500 до 800° С. Применение высокотемпературного теплоносителя позволяет сократить габариты сушильных установок.

Для сушки обезвоженных осадков городских очистных сооружений наибольшее распространение получили барабанные сушилки с прямоточным движением осадка и топочных газов.

Сушилка барабанного типа. Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры (барабана) и вентиляционного устройства. Осадок поступает в барабан через загрузочную камеру и удаляется из него через выгрузочную камеру.

Сушильный барабан устанавливают с углом наклона к горизонту 3-4°. Частота вращения барабана 1,5-9 мин-1. Наклон барабана и его вращение обеспечивают движение материала под действием силы тяжести от загрузочной камеры к выгрузочной.

Для измельчения осадка в начале и конце барабана подвешиваются корабельные цепи. В средней части сушилки устанавливаются лопастные, секторные или винтовые насадки, обеспечивающие перемешивание осадка и равномерное распределение его по сечению барабана. Цепи и насадки интенсифицируют процесс сушки, обеспечивая большую площадь поверхности контакта между осадком и сушильным агентом.

Осадок сушится проходящими через сушилку топочными газами, получаемыми в результате сжигания газа в топке. При сжигании газа в топку подается избыточный объем воздуха. Движение топочных газов создается дутьевым и отсасывающим вентиляторами.

Для расчета сушилок основной величиной является масса испаряемой влаги. Эта величина зависит от типа сушилки, материала, температуры и других факторов. По СНиП П-32-74 барабанную сушилку рекомендуется рассчитывать на испарение 60 кг/ч влаги на 1 м³ объема барабана при влажности обезвоженного осадка 78-80%, температуре топочных газов на входе 700-800° С, на выходе 100-200° С. Влажность высушенного осадка поддерживают в пределах 30-35%, так как более глубокая сушка приводит к значительному пылению осадка и осложняет его транспортирование.

Основными недостатками барабанных сушилок являются их громоздкость и большая металлоемкость, высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Барабанные сушилки применяются и за рубежом. Например, на станции Лонг-Бич (Англия) барабанная сушилка установлена для окончательной сушки осадка после вакуум-фильтров. Барабан этой сушилки имеет длину 9,3 м и диаметр 1,87 м. Температура газов на входе в сушилку 538° С, на выходе-188° С.

Поступающий осадок имеет влажность 70%, а подсушенный -40%. Сухой осадок измельчается в дробилке и продается как удобрение, что окупает 60% расходов по станции.

На многих очистных станциях США применяют пневматические сушилки фирмы «Раймонд». Обезвоженный осадок предварительно смешивают с термически высушенным и измельчают в сушильных мельницах. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, по которой снизу вверх движется смесь топочных газов и взвешенных в их потоке частиц осадка. Высушенный осадок с влажностью до 10% отделяют от отходящих газов в циклоне и с помощью раздаточного узла либо расфасовывают для отправки потребителю, либо подают в печь, где его сжигают вместе с дополнительным топливом, в качестве которого используют городской мусор, нефть, мазут. Туда же отсасывающим вентилятором подают запыленные

отходящие газы. Часть обезвоженного осадка шнековым питателем подают в сушильную мельницу.

В последнее время широко применяются сушилки со взвешенным слоем. В зависимости от гидродинамического режима сушки различают аппараты с кипящим и фонтанирующим слоем.

Для сушки пастообразных материалов, к которым относится и обезвоженный осадок, наиболее перспективными являются сушилки с фонтанирующим слоем. Они представляют собой аппараты переменного по высоте сечения, цилиндро-конические или конической формы. Влажный осадок из бункера с помощью питателя подается в сушильную камеру. Теплоноситель, поступающий в сушилку через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Осадок таким образом циркулирует в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство. Время обработки осадка можно изменять регулируя уровень выгрузки готового продукта с помощью переливного порога. Вместе с отработанным теплоносителем из сушилки выносятся пылевидная часть осадка, которая улавливается в циклоне и подмешивается в загрузочном бункере к влажному осадку.

В исследованиях, проведенных на кафедре канализации МИСИ им. В. В. Куйбышева, опытная цилиндро-коническая сушилка с фонтанирующим слоем применялась для сушки осадков сточных вод фабрик первичной обработки шерсти. Эксперименты дали положительные результаты. Исследования показали также принципиальную возможность сушки осадков городских сточных вод в фонтанирующем слое.

По сравнению с другими типами сушилок и особенно барабанными сушилки с фонтанирующим слоем обладают рядом преимуществ: отсутствие движущихся частей, простота конструкции, возможность полной автоматизации процесса. Вследствие большой турбулентности фонтанирующего слоя происходит интенсивный тепло- и массообмен между твердыми частицами и газом. Интенсивное перемешивание частиц в слое приводит к быстрому выравниванию температур по всему объему сушилки. Это устраняет возможность перегрева высушиваемого материала, даже при использовании высокотемпературного теплоносителя, и приводит к значительному снижению расхода топочных газов и увеличению коэффициента полезного действия сушилки.

Термическая сушка жидких осадков. Такой вариант обработки осадков требует большого расхода тепла на испарение влаги, что влечет за собой увеличение эксплуатационных расходов. Однако применение этого метода может быть оправдано только в отдельных случаях для сушки небольших объемов осадков, например для

подготовки активного ила к использованию в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Технология обработки ила для получения сухого кормового продукта должна обеспечить сохранность белково-витаминного комплекса, а также полную санитарную безопасность продукта. Этим требованиям удовлетворяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем.

Сушилки обоих типов при работе в «мягком» режиме, т. е. при температуре теплоносителя не более 250°C , позволяют быстро обрабатывать термолабильные материалы, сохраняя их питательную ценность. В распылительных сушилках из высушиваемой суспензии образуется тонкодисперсное облако. Соприкасаясь с нагретым газом, вода мгновенно испаряется, а высушенный продукт вместе с потоком сушильного агента направляется в циклон для разделения. Недостатком распылительных сушилок является их громоздкость и низкое напряжение сушильной камеры по влаге, которое, по данным АКХ, при сушке уплотненного активного ила не превышало $9,7\text{ кг/м}^3$.

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова проведены исследования по сушке уплотненного активного ила в сушилках с кипящим слоем инертного носителя. В качестве последнего могут быть использованы кварцевый песок, стеклянные шарики, фторопластовая крошка, а также гранулы высушенного материала. Инертный носитель загружается на газораспределительную опорную решетку, через которую в сушилку подается газ-теплоноситель. При определенной скорости газового потока частички инертного материала переходят во взвешенное состояние. Такой взвешенный и расширенный слой инертного носителя напоминает кипящую жидкость, отчего и называется кипящим или псевдоожиженным. Активный ил, подлежащий сушке, с помощью форсунки вводится в слой инертного материала и, попадая на поверхность его частиц, быстро высушивается. Вместе с потоком отработанного теплоносителя высушенный продукт выносятся из сушилки в циклон, где происходит их разделение. Напряжение сушильной камеры по испаряемой влаге (по данным АКХ) при сушке активного ила с влажностью 97,4-98% составляет $600\text{--}960\text{ кг/(м}^3\cdot\text{ч)}$ при температуре теплоносителя на входе $160\text{--}250^{\circ}\text{C}$.

В комбинированной сушилке-грануляторе типа РКСГ, разработанной Научно-исследовательским институтом удобрений и инсектофунгицидов, совмещены принципы распыления и кипящего слоя. На первом этапе идет интенсивная сушка суспензий в распылительной части сушилки, затем влажный материал досушивается и гранулируется в кипящем слое. Получение высушенного продукта в виде гранул уменьшает пыление.

Опытные образцы таких сушилок испытывали в АКХ и Мосводоканалпроекте. Получены положительные результаты.

Термическая сушка является ступенью обработки обезвоженного осадка и позволяет довести долю сухого вещества до 90%, уменьшить объем осадка, снизить

затраты на его хранение и транспортировку, а также повысить эффективность утилизации.

Сушка повышает теплотворную способность осадка и снижает затраты на его сжигание. Так, доля сухого вещества в пределах до 35-40% позволяет сжигать осадок исключительно на специальных установках, 65% - на мусоросжигательных установках, а осадок, высушенный до 90% по сухому веществу, сопоставим по теплотворной способности с бурым углем и может быть использован в качестве топлива для генерации тепла и (или) электроэнергии.

Нагрев осадка до требуемой температуры в течение достаточного времени позволяет считать его гигиенически безопасным, поскольку содержание патогенов в нем уменьшается до необнаруживаемых уровней (в соответствии с официальными требованиями, принятыми во многих странах). Сушка также позволяет снизить интенсивность распространения запаха при хранении или перемещении осадка.

Основными способами утилизации высушенного осадка являются:

использование в качестве органического удобрения в земледелии (аграрный, лесной, ландшафтный сектора);

газификация;

использование в качестве дополнения к твердому печному топливу на цементных заводах, тепловых и электрических станциях;

сжигание на специальных установках или совместно с мусором;

депонирование.

Технологии сушки осадка имеют некоторые недостатки (влияние которых может быть ослаблено):

взрывоопасность, обусловленная сочетанием трех факторов, - образования пыли осадка, наличия кислорода, рабочей температуры 130 °С и выше. Нейтрализация одного или двух факторов возможна путем выбора соответствующей технологии сушки;

энергозатраты от 0,65 до 1,2 кВтч/кг сырого осадка в зависимости от используемой технологии. Энергобаланс улучшается при рекупера. тепла и использовании осадка для генерации энергии;

пылеобразование, присущее сушильным установкам, в которых формируют осадок за пределами фазы пластичного состояния (45-55% по сухому веществу). Осадок, осушенный до пластичного состояния, уже не является жидкостью, но недостаточно тверд для пылеобразования при формовке. Системы, формирующие гранулы осадка в пластичном состоянии и далее досушивающие их, позволяют избежать пылеобразования.

Сопоставление достоинств и недостатков технологий сушки позволяет рекомендовать их для обработки осадка очистных сооружений. Для сушки осадка в промышленных объемах используются три основных технологии:

прямое нагревание, при котором тепловая энергия для выпаривания воды из осадка передается при непосредственном контакте горячего газа (теплоносителя) с осушаемым осадком;

косвенное нагревание, при котором тепловая энергия передается осадку посредством контакта с поверхностью, достаточно разогретой для обеспечения испарения воды;

комбинация вышеупомянутых технологий, когда оба метода сушки используют в последовательных ступенях установки.

Критериями для выбора сушильной установки являются:

безопасность;

эксплуатационные затраты, величина которых определяется энергозатратами и стоимостью технического обслуживания осушителя;

степень сушки осадка, которая может варьироваться от 65 до 90% по сухому веществу в зависимости от дальнейшей утилизации высушенного осадка;

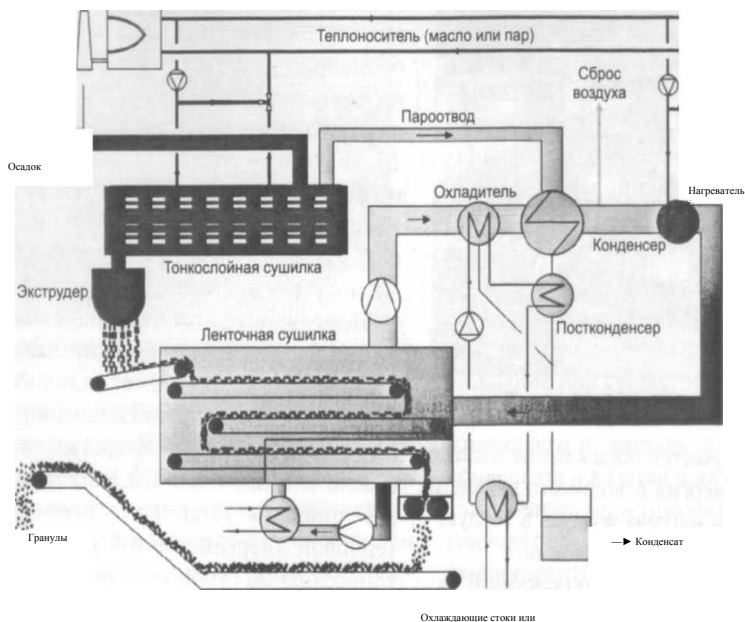
производительность параллельных линий сушильной установки, определяемая работоспособностью комплекса в случае вывода из эксплуатации одной из линий, характеристиками осушаемого осадка, возможностью разумной компоновки и эксплуатации нескольких аппаратов;

форма обработанного осадка, поскольку безопасность обслуживающего персонала и простота обращения с высушенным осадком обеспечиваются его гранулярной формой и отсутствием пыли.

Фирмой «Дегремон Технолоджиз - Инно-плана» разработана и запатентована технология двухступенчатой сушки INNORDY® 2E, сочетающая достоинства методов прямого и косвенного нагревания осушаемого осадка: [66]

Рисунок 19.

Принципиальная схема сушильной установки INNODRY® 2E



рекуперация энергии обеспечивает снижение эксплуатационных расходов;
формовка гранул в пластичной фазе осадка предотвращает пылеобразование;

рабочая температура ниже 110 °C обеспечивает безопасность эксплуатации.

На первой ступени сушки осадок нагревается косвенно, а на второй - прямым образом. Часть тепловой энергии, рассеиваемой на первой ступени, рекуперируется для нагрева на второй ступени. Этот принцип является неотъемлемой частью европейского патента EP 0889014.

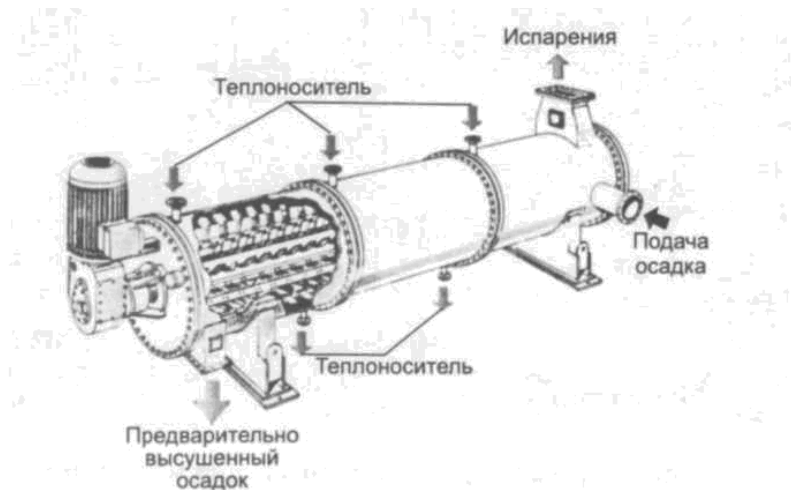
Осадок, обезвоженный до 15% по сухому веществу, осушается до 90%. Параметры технологического оборудования определяются свойствами осадка, подаваемого на сушку. В зависимости от требований заказчика степень сушки осадка может варьироваться в диапазоне 65-90% по сухому веществу.

На рис.19, представлена принципиальная схема сушильной установки INNODRY® 2E. Обезвоженный осадок транспортируется к установке и хранится в буферной емкости, откуда подается насосом на первую ступень сушки — в тонкослойную сушилку (рис. 20) Аппарат не прямой сушки без интенсивной

рециркуляции осадка представляет неподвижный полый цилиндр с термической рубашкой и вращающимся ротором. Поступающий осадок распределяется тонким слоем по внутренней поверхности цилиндра, обогреваемой снаружи теплоносителем, циркулирующим в термической рубашке. Однородность пленки осадка и его транспортировка от входа к выходу из аппарата обеспечиваются набором скребков, смонтированных на роторе.

Сушка осадка производится при атмосферном давлении. Степень сушки осадка увеличивается с 15% на входе аппарата до 45—55% на выходе.

Рисунок 20. Тонкослойная сушилка



Таким образом, исключается образование пыли в аппарате. Тепловая энергия отводимого горячего пара используется для нагрева воздуха в воздушном контуре второй ступени осушителя.

Пластичный осадок после тонкослойной сушилки подается в экструдер, где он продавливается через перфорированную сетку (типовой диаметр отверстий 8 мм) и поступает на дальнейшую сушку в виде нитей. Длина сформованных нитей зависит от содержания волокон в осадке. Если содержание волокон незначительно, то гранулы образуются без дополнительной обработки.

Экструдер регулярно очищается встроенной системой автоматически, однако подлежит периодической промывке. Экструдер оборудуется системой смены

сетки, позволяющей продлить работу устройства без вмешательства обслуживающего персонала.

Вторая ступень - ленточная сушилка. Сформованные нити пластичного осадка равномерно распределяются промежуточным конвейером по всей ширине ленты сушилки. Скорость движения лент ограничена необходимостью обеспечения неподвижности нитей осадка и предотвращения пылеобразования. Следует отметить, что другие устройства, в которых высушенный осадок подвергается интенсивному взаимному трению нитей (гранул) или трению с механизмами, генерируют большие объемы пыли.

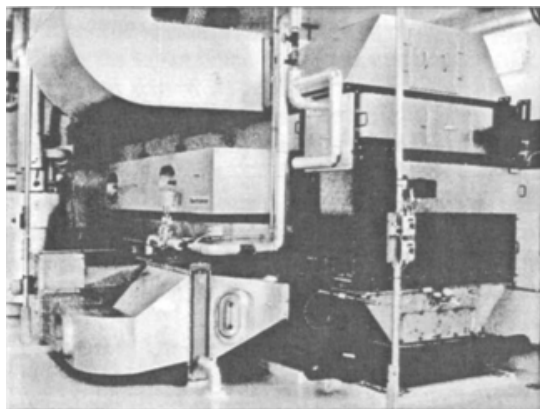
Перфорация лент обеспечивает оптимизацию циркуляции горячего воздуха сквозь ленту и слой нитей осадка. Гранулы охлаждаются на нижней ленте перед выгрузкой из аппарата. Для наблюдения за процессом сушки осадка в аппарате имеются специальные окна по длине каждой ленты (Рис.21). Ленточная сушилка работает под слабым разрежением, блокирующим распространение запаха осадка снаружи.

Количество, длина и ширина лент сушилки зависят от требуемой степени высушивания осадка. Если содержание волокон в осадке превышает 5% сухого вещества или длина гранул осушенного осадка должна быть не более 10 мм, на выходе ленточной сушилки дополнительно производится измельчение осушенного осадка. Типовая гранулометрия осадка, высушенного установкой INNODRY* 2E, характеризуется преобладанием частиц размером 1,1-8 мм (95% по весу) и малым содержанием пыли (0,3% частиц размером менее 0,063 мм).

Источником тепла для сушки осадка является существующая котельная или бойлер, который в качестве топлива может использовать мазут, природный газ или биогаз, генерируемый очистными сооружениями. Нагретый теплоноситель (масло или насыщенный пар) циркулируют через аппараты установки. Значительная часть тепловой энергии, взятой от теплоносителя в тонкослойной сушилке, выносится с отводимым паром. запатентованная система рекуперации позволяет использовать часть этой энергии для подогрева воздуха в воздушном контуре второй ступени сушки.

Горячий воздух, подаваемый во вторую ступень, проходит сквозь ленты осушителя и уносит выпариваемую из нитей осадка воду.

Рисунок 21. Ленточная сушилка с окнами для наблюдения и обслуживания (г.Бендерг, Лихтенштейн)



Воздух отобранный вентилятором, поступает на охладитель, где влага конденсируется и удаляется из воздушного контура. Далее воздух подогревается в конденсоре, где выделяется тепло конденсации пара, окончательно нагревается теплоносителем и вновь подается в ленточный осушитель. Тепловая энергия, выделяемая в охладителе воздушного контура второй ступени и в постконденсоре паропотока первой ступени, может быть экспортирована и использована для отопления зданий, подогрева бытовой воды или осадка в метантенках.

Сушка осадка по технологии INNODRY* 2E не сопровождается генерацией пыли и не приводит к загрязнению конденсата. В процессе сушки при невысоких температурах происходит незначительное выделение аммиака из осадка. В результате конденсат является чистой и прозрачной жидкостью практически без запаха, которая не требует дополнительной обработки перед возвращением в голову очистных сооружений.

Воздух циркулирует в воздушном контуре под небольшим разрежением, что препятствует распространению запаха при сушке осадка. Для ограничения концентрации накапливаемых в контуре загрязнителей (сероводорода и т. п.) необходимо подмешивать свежий воздух, а загрязненный отводить для обработки или сброса. По сравнению с другими методами технология INNODRY* 2E позволяет снизить объем отводимого загрязненного воздуха в 8-10 раз.

Для промывки аппаратов во время периодических остановок для обслуживания и для целей охлаждения можно использовать осветленные стоки сооружений, фильтрация которых перед использованием необязательна.

Единичная производительность выпускаемых осушителей INNODRY* 2E в диапазоне 0,5-6 т/ч испаряемой воды на одну линию позволяет создавать установки, соответствующие производительности очистных сооружений и состоящие из одной или нескольких линий.

Достоинства сушильных установок INNODRY* 2E:

простая и надежная конструкция - используемые принципы действия и материалы, а также невысокие рабочие скорости обеспечивают механическую прочность, надежность и простоту обслуживания аппаратов осушителя. Конструкция установки обеспечивает возможность визуального контроля различных ступеней сушки;

отсутствие пылеобразования - формовка гранул в пластичной фазе осадка и конструкция ленточного осушителя предотвращают пылеобразование при сушке. Таким образом, установки INNODRY* 2E являются удобными для обслуживающего персонала, а обработка отводимого конденсата и воздуха просты и недороги;

безопасность - относительно низкие рабочие температуры наряду с отсутствием пылеобразования гарантируют безопасность установок. Они защищены от риска самовозгорания гранул или взрыва пыли. Соответствие стандартам безопасности во многих странах позволяет использовать эти установки без принятия дополнительных мер (например, заполнения аппаратов инертным газом);

оптимизация энергопотребления - интегрированная запатентованная система рекуперации тепла позволяет удерживать общие энергозатраты в пределах 650-750 кВтч/т испаряемой воды;

вариация степени сушки осадка - установки обеспечивают управление степенью сушки гранул осадка в диапазоне 65-90% путем настройки параметров второй ступени сушки.

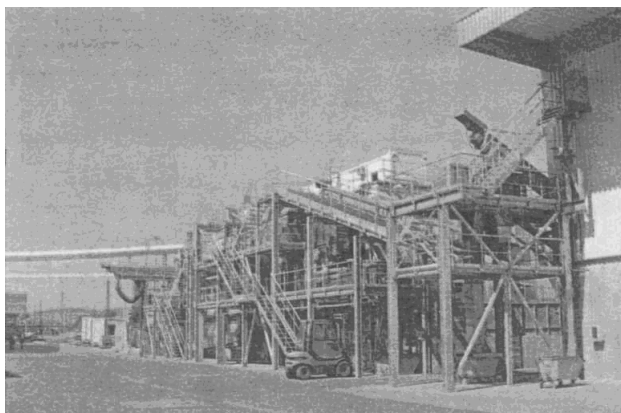
В современном мире постоянно идут поиски новых видов энергоносителей, которые могут стать дополнительным источником выбросов нейтрального углекислого газа и возобновляемых источников энергии. В связи с этим появился значительный интерес к высушенному осадку сточных вод в виде гранулированного материала для его последующего использования в качестве топлива. Установки для сушки осадка построены во многих городах: Париже и Афинах, Сингапуре, Карлштадте (Германия), в штате Флорида (США). Сушка осадка и передача его на совместное сжигание является стопроцентным безотходным методом без проблем с золой от процесса сжигания.

Увеличение количества осадков сточных вод и ужесточение санитарно-гигиенических и нормативно-правовых требований, допускающих их складирование, сельскохозяйственное или другое использование, приводят к тому, что решение проблемы утилизации осадков сточных вод становится все более сложным. Очень важно найти комплексный рациональный способ управления осадками сточных вод,

образующихся как на малых и средних, так и на крупных очистных сооружениях. Строительство завода по сжиганию осадков вблизи от очистных сооружений - далеко не самое оптимальное решение.

Примером рациональной и безотходной технологии утилизации осадков сточных вод является конвейерная сушка, реализованная в Баварии (г. Карлштадт, Германия) [67,68].

Рисунок 21. Конвейерная сушилка осадка сточных вод в Карлштадте (Бавария)



Бавария — лидер в Германии в области охраны окружающей среды и первой ввела обязательную дезинфекцию ультрафиолетовым облучением очищенных сточных вод. В конце 2005 г. на территории цементного завода в г. Карлштадте была запущена установка для сушки осадков сточных вод (рис. 21). Это новаторское решение обеспечивает не только полную утилизацию осадков, но и позволяет использовать их в качестве альтернативного топлива для цементных предприятий. Таким образом, используются осадки коммунальных сточных вод, привозимые на цементный завод с более чем 100 очистных сооружений.

Строительство объекта «под ключ» было осуществлено в течение 12 месяцев, при этом размер инвестиций не превысил 12 млн. евро. В рамках контракта, кроме самой установки для сушки, построено здание для приема механически обезвоженных осадков; организована транспортировка осадков по территории цементного завода; оборудована установка для передачи тепла, рекуперированного из газов сгорания цементного производства. Исполнителем контракта была фирма «Andritz 3SYS» (Швейцария). Конвейерная сушильная установка для осадков сточных вод в Карлштадте является самой крупной в мире.

Все элементы **конвейерной сушилки типа BDSC I-RT-S**, кроме конвейерной ленты, находящиеся снаружи или соприкасающиеся с осадками,

изготовлены из нержавеющей стали или бетона. Благодаря этому элементы устойчивы к коррозии и атмосферным факторам. При размещении объекта не требуется дополнительное здание или крыша, что позволяет в значительной степени сократить капитальные затраты.

С одной стороны сушильной установки находятся отверстия для впуска воздуха, который сушит осадки, и отвода влажного воздуха, а также теплообменники. С другой стороны предусмотрены площадки для доступа к оборудованию на каждом уровне. Непосредственный доступ возможен практически ко всем механизмам и элементам установки, что облегчает ее обслуживание. На последнем уровне находятся шкафы управления с контрольным рабочим местом, с визуализацией процесса с камер, установленных в ключевых местах технологической линии сушильной установки. Система ручного управления, расположенная непосредственно на сушилке, как правило, не используется. Управление и контроль за процессом сушки и транспортированием осадка осуществляется в автоматическом режиме непосредственно из главной диспетчерской завода.

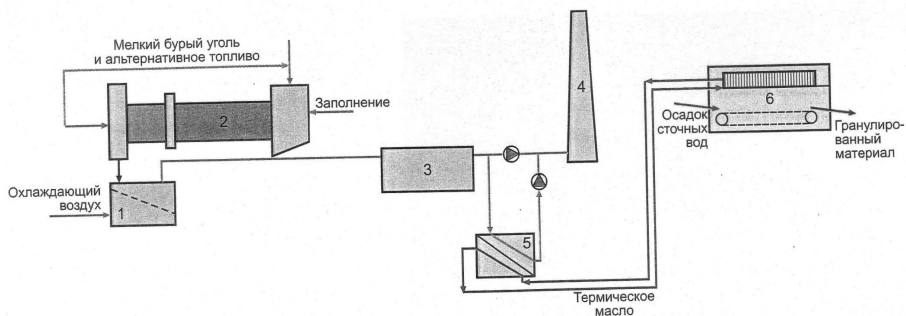
Технические параметры сушильной установки:

вид осадков - коммунальные осадки сточных вод;
количество испарившейся воды (по проекту) - 7800 кг/ч;
содержание сухой массы в механически обезвоженном осадке 15-35%;
содержание сухой массы в высушенном осадке > 90%;
производительность сушилки (обезвоженные осадки) - около 100 тыс. т/год;
энергопотребление - 55 кВт-ч/т испарившейся воды;
источник тепла для процесса сушки - рекуперация тепла топочных газов;
использование высушенного гранулированного материала - сжигание и рекуперация тепла в цементной печи.

На рис. 22 представлена общая схема соединения установки сушки осадка сточных вод с технологическим процессом цементного предприятия в Карлштадте.

Транспортировка и прием осадка сточных вод - один из наиболее важных процессов на региональной станции термической переработки осадков сточных вод, примером которой и является сушильно-сжигающая установка на цементном заводе в Карлштадте. На установку привозятся обезвоженные механическим способом осадки с более чем

Рис. 22. Схема соединения установки высушивания осадка сточных вод с технологическим процессом цементного завода в Карлштадте



1 - охлаждение клинкера; 2 - цементная печь; 3 - электрофильтр; 4 - дымовая труба; 5 - теплообменник отходящего тепла; 6 - сушилка типа BDS.

100 очистных сооружений региона (большинство из них находится на территории Германии, 43 - в Голландии). В зависимости от типа сточных вод содержание сухой массы в механически обезвоженных осадках колеблется в диапазоне 15-35%. Осадки доставляются специальными грузовыми автомобилями закрытого типа, не допускающими выхода неприятных запахов во время транспортировки. Простота транспортировки и разгрузки обезвоженных осадков сточных вод обеспечивается благодаря обустройству автомобиля по типу «лодочки».

Разгрузка осадков в здании приемки осуществляется через специальные ворота, которые одновременно могут обслуживать четыре автомобиля. Внутри здания находятся две независимые камеры, каждая из которых обслуживает по два автомобиля, также установлен подъемный кран с захватывающим механизмом для перемещения осадков.

Обезвоженные осадки транспортируются с помощью винтовых конвейеров в лопаточный смеситель, где происходит смешивание обезвоженных осадков с высушенными гранулами осадка (рециркуляция высушенного осадка). Смесь, содержащая около 60% сухой массы, с помощью дозатора подается на винтовое подающее устройство и равномерно распределяется по ширине конвейерной ленты. Толщина раскладываемого на ленте слоя регулируется вертушкой, вращающейся в направлении, противоположном движению конвейерной ленты. Таким образом, достигается равномерное распределение слоя осадка на ленте, что обеспечивает однородность условий процесса сушки в каждой точке ленты конвейера. Благодаря этому содержание сухой массы в осадках постоянно.

Высушенные осадки направляются к распределяющему бункеру резервуара, откуда одна часть осадков возвращается на рециркуляцию, а другая - направляется в бункер высушенного осадка, и далее пневмотранспортом - в систему снабжения топливом цементной печи. Тепло отработанных топочных газов, выходящих из вращающейся цементной печи, в полном объеме используется для испарения воды из осадков сточных вод. Часть отработанных газов с помощью байпасов направляется в теплообменник термического масла. После выхода из теплообменника отработанные газы направляются в дымоход. Тепло отработанных газов переносится на сушильную установку с помощью термического масла. В сушилке находятся последовательно подключенные теплообменники с термическим маслом, которые обогревают воздух, предназначенный для сушки осадка. Расстояние между теплообменниками составляет около 300 м. Система передачи тепла состоит из насосов, перекачивающих термическое масло; буферной емкости; емкости для наполнения и опорожнения с насосом; трубопроводов, ведущих к сушильной установке. Начальная температура термического масла составляет около 210 °С, возвратная - около 130 °С.

Теплообменники внутри сушилки находятся на противоположной стороне от площадок над отводами влажного воздуха. Температура воздуха на входе в сушилку составляет 100-150 °С. Вентиляторы, обеспечивающие подачу воздуха, установлены таким образом, что вся сушильная установка работает под небольшим вакуумом, предотвращая появление неприятных запахов. В последней зоне сушки осадки охлаждаются до 50 °С атмосферным воздухом, поступающим снаружи. Это очень важный процесс с точки зрения безопасности.

Выпаривание около 8000 кг/ч воды обуславливает выход огромного количества воздуха, содержащего пар. Большая часть воздуха, выходящего из сушилки, направляется в теплообменник и повторно нагревается перед очередной подачей в сушилку. Влажный воздух, выходящий из установки, смешивается с воздухом, выходящим из здания приема обезвоженных осадков. Эта смесь подается в скруббер, а затем - в конденсатор для отделения испарившейся воды. Последним этапом очистки воздуха является его прохождение через биофильтр.

Основным оборудованием, входящим в состав системы, служит сушилка осадков сточных вод, обезвоженных механическим путем. Инвестор выбрал конвейерную сушилку фирмы «Andritz 3SYS». На рис. 21 показан внешний вид сушилки со стороны площадок. В системе предусмотрены два трубопровода, один — для транспортировки горячего термического масла, второй - для высушенных осадков. Конвейерная сушка BDS - проверенная технология, имеющая следующие преимущества:

легкая и быстрая остановка и запуск системы после коротких остановок. Время остановки или запуска составляет 5-15 мин. В случае задержек процесса на несколько десятков часов не требуется очистка сушилки от осадков;

применение рециркуляции высушенного гранулированного материала и его смешивания с обезвоженными осадками. Высушенные гранулы смешиваются с влажными осадками и подаются в сушилку. В результате гранулы, состоящие из сухой сердцевины и влажной оболочки, быстрее отдадут воду и исключают опасность получения неравномерно высушенного осадка (влажного внутри и пересушенного снаружи). Смесь осадков, подаваемая в сушилку в форме конгломератов (состоящих из сердцевины, покрытой слоем механически обезвоженного осадка), содержит около 60% сухой массы. На выходе из сушильной установки содержание сухой массы в осадке составляет минимум 90%;

равномерное распределение высушенных осадков на ленте позволяет получить одинаковые условия и параметры сушки по всему слою осадка в каждом пункте конвейера. Это исключает возможность спекания и недосушки осадка в отдельных зонах конвейера;

высокая термическая производительность оборудования благодаря рециркуляции влажного и высушивающего воздуха. Из цикла отводится только часть воздуха с паром;

все элементы сушилки, за исключением конвейерной ленты, соприкасающиеся с осадками, изготовлены из нержавеющей стали.

При сжигании осадков сточных вод после их сушки важен процесс очистки топочных газов для соблюдения норм выбросов вредных веществ в атмосферу.

Таблица 13. Сжигание отходов.

Загрязняющие вещества, мг/м ³	Количество
Пыль (общий объем)	30
HC1	10
HF	1
NOx для существующих предприятий	800
NOx для новых предприятий	500 ¹
S02 (диоксид серы)	50 ²
Органическое вещество, выраженное как общий органический углерод, в форме газов и паров	10 ³
Cd + Tl	0,05
Hg	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5
Диоксины и фураны, нг/м ³	0,1
1 При соблюдении допустимого содержания выбросов NOx, цементные печи, находящиеся в эксплуатации и обладающие необходимыми разрешениями в соответствии с действующими правилами ЕС, которые начнут совместное сжигание отходов по истечению срока, не будут рассматриваться как новые предприятия. 2 Эмиссионный стандарт S02 можно не применять в случае, когда это вещество не возникло при сжигании отходов, или когда количество этого вещества не превышает количество, которое возникло бы при сжигании топлива вместо отходов. 3 Эмиссионный стандарт органических веществ в форме газов и паров, выраженных как общий органический углерод, можно не применять в случае, когда вещество не возникло в результате сжигания отходов.	

В странах ЕС основополагающим документом в области сжигания отходов является Директива 2000/76/WE. Стандарты выбросов в атмосферу для процесса совместного сжигания отходов, в том числе осадков сточных вод в цементных печах представлены в таблице. Обеспечение таких стандартов эмиссии требует применения современных систем и оборудования для очистки топочных газов. На цементном заводе в Карлштадте для этих целей применяются рукавные фильтры и электрофильтр.

На цементном заводе в Карлштадте около 98% энергии, необходимой для энергоемкого процесса обжига клинкера в цементной печи, создается путем сжигания

альтернативного топлива. Кроме высушенных осадков сточных вод на предприятии используются старые автомобильные покрышки, костная мука, отработанные масла. Такой процесс при наличии хорошей установки для очистки топочных газов является экологически надежным. Экономия горючих полезных ископаемых, применение энергии, содержащейся в отходах, сушка отходов с использованием отходящего тепла - это техническое решение, соответствующее современным направлениям охраны окружающей среды.

Совмещение сушки осадков сточных вод с использованием отходящего тепла особенно выгодно в экономическом плане. Стоимость энергии, необходимой для испарения воды, является основной расходной частью эксплуатации каждой сушильной установки. Технология, применяемая в Карлштадте, позволяет предприятию на длительное время оградить себя от изменения цен на топливо. Для использования на цементных предприятиях осадки сточных вод должны быть высушены до содержания сухой массы не менее 90% и содержать как можно меньше пыли.

Технология, реализованная на цементном заводе «Швенк-Цемент» в Карлштадте, - это инновационное решение использования осадков сточных вод, позволяющее предприятию получить следующую реальную выгоду:

вознаграждение от производителя осадков за каждую тонну принятого обезвоженного осадка;

осадки сточных вод, высушенные до содержания сухой массы свыше 90%, являются источником энергии с теплотворной способностью, сравнимой с бурым углем;

тепло, необходимое для сушки осадков, извлекается из отходов (т. е. ничего не стоит);

минеральная фракция, содержащаяся в осадках, является полезной технологической составляющей, заполняющей цемент, а поэтому не требует отдельной утилизации;

осадки сточных вод, совместно сжигаемые в цементных печах, обладают не только свойствами альтернативного топлива, но и возобновляемого топлива, а поэтому являются нейтральным топливом в аспекте проблемы ограничения эмиссии углекислого газа.

Пример внедрения технологии в Карлштадте показывает, что проблему коммунальных осадков сточных вод в региональном масштабе можно также решить безотходным методом, при сотрудничестве территориальных органов самоуправления и заинтересованных фирм.

5.2 Сжигание осадков сточных вод и системы пыле-газоочистки дымовых газов. Утилизация золы сжигания осадка.

Сжигание осадков производят в тех случаях, когда их утилизация невозможна или нецелесообразна, а также, если отсутствуют условия для их складирования. При сжигании объем осадков уменьшается в 80-100 раз (Рис. 12). Дымовые газы содержат CO_2 , пары воды и другие компоненты. Перед сжиганием надо стремиться к уменьшению влажности осадка. Осадки сжигают в печах кипящего слоя, многоподовых, барабанных, циклонных и распылительных.

Печь кипящего слоя представляет собой футерованный цилиндр с воздухораспределительной решеткой. На решетку насыпают слой песка толщиной 0,8-1 м (размер частиц 0,6-2,5 мм). Псевдоожиженный слой образуется при продувании газов через распределительную решетку. Подаваемый в печь осадок интенсивно перемешивается с раскаленным песком и сгорает. Процесс горения длится не более 1-2 мин.

Ил подают в печь на слой песка, где он просушивается, истирается и сгорает при 590-780°C. Дымовые газы поступают в теплообменник, где охлаждаются воздухом, подаваемым воздуходувкой из теплообменника.

Нагретый воздух подают в печь для создания псевдоожиженного слоя и поддержания горения. Дымовые газы после теплообменника поступают в циклон, где отделяются твердые частицы, а затем - в поверхностный абсорбер, орошаемый водой. Очищенные газы выбрасывают в атмосферу. Вода из абсорбера поступает в отстойник, где отделяется зола. Осадок ее в виде пульпы направляют на вакуум-фильтр. Фильтрат и воду из отстойника возвращают в абсорбер. Полученную золу используют как минеральное удобрение или для изготовления строительных материалов.

Барабанные печи представляют собой вращающийся наклонный барабан с выносной топкой, где сжигают жидкое или газообразное топливо. Обезвоженный осадок загружают с противоположного конца барабана и сжигают в зоне горения.

Циклонные и распылительные печи применяют для сжигания в распыленном состоянии жидких или мелкодисперсных твердых осадков.

Корпус печи выполнен в виде стального цилиндра диаметром 1-7 м, внутренняя поверхность которого футерована огнеупорным материалом. Печь имеет от 4 до 8 горизонтальных огнеупорных подов, расположенных один под другим. К вертикальному вращающемуся валу над каждым подом прикреплены радиальные скребковые мешалки. Осадок подается через загрузочное устройство на верхний под, перемешивается мешалками, сдвигается ими к центральному отверстию пода и попадает на нижележащий под. Перемещение осадка по этому поду идет в

противоположном направлении. На следующий под осадок попадает через кольцевое отверстие, расположенное по периферии пода.

На верхних подах происходит сушка осадка, в результате которой влажность его с 70-80% снижается до 40-50%. В средней зоне печи при подаче избыточного (до 50%) объема воздуха, а при необходимости и топлива происходит сгорание осадка. Температура в этой зоне достигает 770-925° С. Воздух нагнетается воздуходувкой через вал, благодаря чему последний предохраняется от перегрева. По рециркуляционному трубопроводу нагретый примерно до 200° С воздух возвращается в зону сгорания. Такая циркуляция воздуха исключает необходимость его подогрева. На нижних подах образовавшаяся при сгорании осадка зола охлаждается и через выгрузочное отверстие выпускается в зольный бункер. Отработанный газ с температурой 370-425° С после очистки в мокрых скрубберах выбрасывается в атмосферу.

Многоподовые печи надежны в эксплуатации и просты по конструкции. К числу их недостатков следует отнести высокую строительную стоимость и большие размеры.

Установки для сжигания осадка в реакторе с кипящим слоем. Обезвоженный осадок шнековым питателем подается в кипящий слой инертного носителя - силикатного песка. Псевдоожиженный слой образуется при продувании через слой песка горячего воздуха. Сжигание ведется при небольшом (10-20%) избытке воздуха. При пуске установки и сжигании малокалорийных осадков в реактор подают газообразное топливо. В кипящем слое при температуре около 750° С. происходит интенсивное перемешивание осадка и песка. Частицы осадка измельчаются за счет соударения и взаимного трения с частицами инертного носителя. Происходит прогрев осадка, испарение влаги, сгорание горючих компонентов.

В отличие от многоподовых печей в реакторе с кипящим слоем не предусмотрены устройства для удаления золы. Образовавшаяся зола, состоящая из пылевидных частиц, выносятся из реактора потоком газов и улавливается в мокром скруббере. Принимается такая скорость газового потока, которая обеспечивает вынос только легкой фракции золы; более тяжелые частицы остаются в реакторе до тех пор, пока не будут достаточно измельчены.

Реакторы с кипящим слоем находят все более широкое применение для сжигания различных осадков. Обеспечивая высокую эффективность процесса, эти установки отличаются компактностью и простотой эксплуатации. Их достоинством является также возможность полной автоматизации процесса.

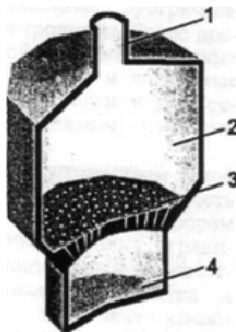
Известно несколько методов сжигания осадков сточных вод, однако наибольшее развитие в настоящее время получила технология псевдоожиженного слоя. Преимущества этой технологии: печи не имеют движущихся механических частей в зоне высоких температур, что увеличивает их ресурс работы до 25-30 лет;

высокая термическая инертность слоя песка сглаживает постоянные колебания теплотворной способности осадка, что позволяет обеспечить высокую стабильность технологического процесса, полностью его автоматизировать, исключить колебания состава дымовых газов.

В 1995-1996 гг. совместно с фирмой «KHD Humboldt Wedag» на заводе «Кировэнергомаш» были изготовлены центрипрессы ЦП4-1.1 для завода сжигания осадка WCA, Водоканал Санкт-Петербурга [69].

Основой выбранной технологии является сжигание обезвоженного осадка в псевдоожиженном слое кварцевого песка. Печь сжигания представляет собой металлоконструкцию, состоящую из цилиндрических и конических обечаек общей высотой (рисунк 23).

Рисунок 23.



1-газоход; 2-реактор; 3-свод; 4-дутьевая камера.

Внутренняя поверхность печи имеет тяжелую обмуровку из огнеупорного кирпича. Свод печи 3 состоит из огнеупорных кирпичей, в которые вставлены газораспределительные сопла. На свод уложен кварцевый песок, а в дутьевую камеру 4 под свод подается большой объем горячего воздуха.

Обезвоженный осадок поступает непосредственно в слой песка, подогретый до температуры более 700 °С. Продукты сгорания из печи поступают на двухступенчатый рекуператор, где, отдавая тепло воздуху псевдоожижения, охлаждаются до ~600 °С. Первая ступень рекуперации - воздушный теплообменник-рекуператор, где раскаленные дымовые газы нагревают воздух псевдоожижения до температуры 600 °С, вторая ступень - парогенератор. Использование электрофильтров для золоудаления требует дальнейшего снижения температуры до ≤ 250 °С. Эту функцию также выполняет паровой котел-утилизатор. Утилизированная энергия в виде насыщенного пара при давлении 6 кг/с м² и температуре 158 °С полностью используется для отопления производственных помещений ЦСА и жилых

кварталов близрасположенного Канонерского острова. Однако в теплое время года образуется избыток энергии.

В основу проектирования установки газоочистки заложены наиболее жесткие российские и европейские требования к выбросам загрязняющих веществ. Проведенный расчет предельно допустимых выбросов полностью соответствовал требованиям санитарных и экологических органов контроля по концентрации загрязняющих компонентов в санитарно-защитной зоне, в том числе и по диоксинам.

После котла-утилизатора дымовые газы поступают на линию к электрофильтру, который представляет собой металлоконструкцию, разделенную на две последовательные секции. Удаление золы с осадительных электродов осуществляется с помощью электромеханических встряхивателей. Зола накапливается в бункере электрофильтра и удаляется с помощью шнекового питателя и пневмотранспорта в бункер-накопитель. Эффективность золоулавливания на электрофильтрах составляет 99,8 %, следовательно, дымовые газы, поступающие на промывку, практически не содержат взвешенных частиц.

Охлаждение продуктов сгорания в теплообменнике и орошение водой в верхней части колонны кислой промывки (сопло Вентури) приводят к снижению их температуры до $\sim 50^\circ\text{C}$. Интенсивная конденсация в колонне Вентури водяных паров с высоким содержанием соединений серы и фосфора приводит к накоплению в сборном резервуаре высококонцентрированной смеси кислот при $\text{pH} \geq 0,5$. Циркуляционные насосы подают кислый раствор в верхнюю часть колонны, орошая дымовые газы. Таким образом обеспечивается высокоэффективная очистка дымовых газов от соединений тяжелых металлов.

Вторая ступень промывки дымовых газов заключается в орошении их раствором каустической соды NaOH в колонне щелочной промывки. Продукты промывки, стекающие в сборный резервуар, повторно используются путем циркуляции с помощью насосов. В процессе орошения продуктов сгорания щелочью эффективно улавливаются соединения серы и фосфора, в результате чего раствор в резервуаре становится слабокислым с $\text{pH} = 5$, и его избыток направляется на нейтрализацию каустической содой и подается в голову очистных сооружений. После двухступенчатой промывки дымовые газы подогреваются в специальном теплообменнике до температуры 130°C и выбрасываются в атмосферу.

Система газоочистки дымовых газов обеспечивает снижение содержания в них сернистого ангидрида на три порядка, хлористого водорода более чем в 50 раз и пыли в 3-4 раза по сравнению с проектными показателями. Проведенные после запуска в эксплуатацию технологического комплекса замеры (1999-2001 гг.) показали наличие концентрации диоксинов в отходящих газах в пределах 13,2-17,6 пг/м^3 при нормативе 100 пг/м^3 .

Весь комплекс оборудования обработки осадка работает в автоматическом режиме под управлением системы Centum CS фирмы «Yokogawa» (Япония). Общий перечень единиц оборудования, включая трубопроводную арматуру и измерительные приборы, составляет более четырех тысяч позиций. Некоторые элементы оборудования (центри-прессы, нагнетатели, бункер обезвоженного осадка и др.) работают по своим алгоритмам и имеют локальные программируемые контроллеры. Более простые устройства (центробежные насосы, шнековые и ленточные конвейеры, мешалки и др.) оснащены релейными пультами управления.

Главным достоинством такой системы является возможность управлять большим набором сложного оборудования, ограничиваясь минимальным количеством персонала наблюдения и получая при этом исчерпывающую информацию о работе оборудования, легко поддающуюся статистическому анализу.

Исследования состава золы от сжигания осадков сточных вод и выпущенные на их основе технические условия, согласованные с Центром Госсанэпиднадзора в С.-Петербурге (зола ОСВ ТУ 5718-001-033238809-98), позволили обосновать техническую возможность применения этой золы в качестве добавки при производстве керамического кирпича и камня по ГОСТ 530-95, ГОСТ 7484-78 и ГОСТ 8426-75.

Экологическая обстановка в С.Петербурге и пригородах после ввода первого в России технологического комплекса по обработке и утилизации осадка сточных вод гораздо благоприятнее, чем при применении традиционной технологии. С пуском нового очистного комплекса исключен ежегодный вывод из хозяйственного и культурно-социального оборота примерно 10 га земель в

наиболее ценной пригородной зоне; при сложившейся на сегодня цене на землю ежегодный предотвращенный ущерб составляет около 15 млн. руб. Внедрение комплекса неопределимо выше с точки зрения сохранения экологии, среды обитания и отдыха населения города и пригородов. Применение технологии сжигания осадка исключает необходимость ежесуточной перевозки автомашинами по городским районам свыше 1000 т необеззараженного осадка влажностью до 80 %. В связи с сокращением количества рейсов крупнотоннажных автомобилей со 103 до 10 в сутки, кроме экономии топлива, уменьшаются выбросы выхлопных газов. Успешный пятилетний опыт эксплуатации комплекса по обработке и утилизации осадков на ЦСА С.-Петербурга подтвердил, что выбранное направление по решению этой сложнейшей задачи правильное. Используя опыт ЦСА, в настоящее время разрабатываются проекты по строительству аналогичных комплексов на Северной станции аэрации и Юго-Западных очистных сооружениях города.

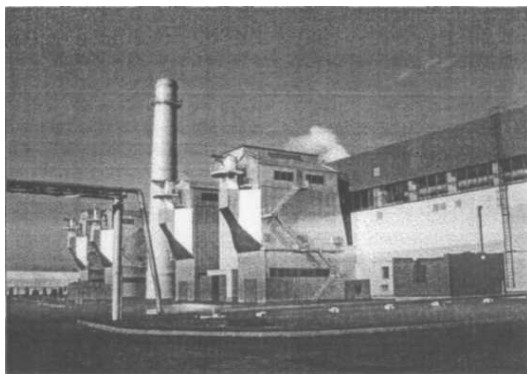
В начале 1990-х годов Водоканал Санкт-Петербурга, изучив рынок технологий сжигания осадка, выбрал технологию сжигания осадков в печах с «кипящим» слоем компании ОТУ (Франция). Эта технология отличается тем, что

процесс горения может происходить исключительно за счет теплотворной способности самого осадка и не требует дополнительной подачи топлива (природного газа). Главным преимуществом таких печей является отсутствие движущихся механических деталей в зоне высоких температур, что значительно увеличивает ресурс их работы. С другой стороны, высокая термическая инертность слоя песка сглаживает постоянные колебания теплотворной способности осадка. Перечисленные преимущества позволили: обеспечить высокую стабильность технологического процесса; полностью его автоматизировать; исключить изменение состава дымовых газов.

Проект завода сжигания осадка на Центральной станции аэрации (УСА) был самым передовым для 1990-х годов (Рис. 23)

Используя успешный опыт эксплуатации завода по сжиганию осадка сточных вод на ЦСА, Водоканал принял решение о строительстве еще двух таких заводов на крупнейших очистных сооружениях города - Северной станции аэрации (ССА) и Юго-Западных очистных сооружениях (ЮЗОС) [70]. В новые проекты внесены технические модификации, учитывающие опыт работы завода на ЦСА. Они позволили реализовать наиболее эффективные и рациональные проектные решения как по сжиганию осадка, так и по использованию побочных энергоресурсов с учетом особенностей технологий очистных сооружений ССА и ЮЗОС.

Рис. 23. Завод по сжиганию осадка сточных вод на ЦСА



При сжигании осадка образуется тепловая энергия, которая используется для выработки пара в котлах-утилизаторах с последующим производством электроэнергии и отопления производственных площадей очистных сооружений.

С 2008 г. в Санкт-Петербурге эксплуатируются три завода по сжиганию осадка сточных вод, что позволило прекратить его складирование на полигонах. На всех трех установках обезвоженный осадок сточных вод является основным

топливом для печей сжигания. В отдельных случаях в качестве вспомогательного топлива используется газ, чтобы компенсировать колебания теплотворной способности осадка. Помимо осадка в печах подвергаются сжиганию и другие отходы, образующиеся на сооружениях, но в значительно меньших количествах: плавающие вещества, отходы с решеток. Обезвоженный осадок и другие отходы подаются в печь, где происходят одновременно процессы сушки, истирания и полного сгорания. Псевдоожиженный слой образован термостойким, мелкозернистым материалом в виде дробленой и фракционированной морской гальки с высоким содержанием оксида кремния.

Природный газ используется в качестве вспомогательного топлива, однако на разных станциях его удельное потребление различно. Это обусловлено отличиями в технологиях очистки сточных вод, свойствах обезвоженных осадков, расчетных параметрах печей, диапазонах процессов сжигания осадка. Для приема осадка с других очистных сооружений на всех заводах смонтированы специальные бункеры для временного хранения и равномерного дозирования привозного осадка в печи сжигания.

При выбросе в атмосферу очищенные газы на всех заводах по сжиганию осадка Санкт-Петербурга соответствуют Директиве ЕС № 2000/76, регламентирующей условия сжигания и требования к выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от установок сжигания отходов.

На всех трех заводах сжигания осадка на первой стадии очистки газовых выбросов применяется электростатическое пылеулавливание. Эффективность очистки электростатическим фильтром составляет более 99,9%. В электростатическом фильтре одновременно вместе с золой удаляется незначительное количество тяжелых металлов. Вторая стадия очистки газов может осуществляться сухим и мокрым способами. При сухом способе используются преимущественно высокоактивные, не регенерируемые адсорбенты, а также вещества, нейтрализующие кислотообразующие газы. В таких системах от процессов газоочистки не образуются сточные воды, которые обычно возвращаются в голову очистных сооружений. При мокром способе очистки топочные газы пропускаются через специальные аппараты - абсорберы, где интенсифицируются процессы удаления загрязняющих газообразных веществ специальными поглотительными растворами. При этом загрязняющие вещества переходят из газовой фазы в раствор, и таким образом происходит образование сточных вод газоочистки, которые подаются на установку локальной очистки и далее возвращаются в голову очистных сооружений.

Каждый из трех заводов сжигания имеет технические отличия, обусловленные конструктивными и технологическими особенностями очистных сооружений.

В ноябре 2007 г. исполнилось 10 лет работы завода по сжиганию канализационных осадков ЦСА на острове Белом. За время эксплуатации этого уникального предприятия накоплен огромный опыт работы, позволяющий сделать вывод о том, что данное производство справляется с задачами глубокой утилизации осадков, образующихся при очистке сточных вод. Завод сжигания осадков является высокотехнологичным автоматизированным и компьютеризованным производством, требующим высокого технического уровня и квалификации обслуживающего и ремонтного персонала.

Для успешной эксплуатации завода сжигания осадка необходимо соблюдать высокие требования к организации технологического процесса очистки воды и подготовки осадка к последующей обработке. На ЦСА одновременно со строительством завода были внедрены следующие системы:

программное управление откачкой заданного объема осадка из первичных отстойников и уплотненного ила из илоуплотнителей, что позволило обеспечить его постоянную влажность и отсутствие загнивания;

установка каскадных решеток с прозорами 2 мм для процеживания сырого осадка и смеси избыточного ила в отделении обезвоживания завода, что позволило обеспечить стабильную работу центрифрессов и насосного оборудования;

установка гидроциклонов в отделении гидроотмыва для удаления песка из осадка первичных отстойников.

До пуска завода проведена профессиональная подготовка эксплуатационного персонала, который уже имел опыт обслуживания оборудования обезвоживания осадка на центрифугах первого и второго поколений фирмы «КХД Гумбольдт» (Германия). Для эксплуатации нового оборудования (печи, котлы-утилизаторы, электрофильтры, скрубберы) было организовано регулярное обучение эксплуатационного и технического персонала по обслуживанию и ремонту, что позволило избежать поломок и отказа оборудования по вине персонала. Периодически проводятся аттестации. Таким образом, высокая квалификация работников предприятия позволила эксплуатировать завод сжигания осадка без аварий и отказов. В последующие годы это способствовало наращиванию производительности завода, совершенствованию технологии, замене изношенного оборудования аналогичным оборудованием отечественного производства.

Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания, существующая на заводе с 1999 г., обеспечила бесперебойную работу как основного технологического оборудования, так и вспомогательного.

В период эксплуатации были усовершенствованы отдельные узлы технологического процесса, которые не были учтены при проектировании и строительстве завода по сжиганию осадков:

введена в эксплуатацию система утилизации пара с использованием образующегося тепла для нужд горячего водоснабжения, отопления острова Белый и жилого поселка Канонерского острова;

модернизованы система подачи обезвоженного осадка в печи сжигания и транспортировка в резервный бункер;

произведена замена винтовых насосов перекачки необезвоженной смеси осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила центробежными насосами, разработанными специалистами Водоканала;

разработаны и введены в эксплуатацию фильтры технической воды для теплообменников щелочной колонны;

модифицирован рукавный фильтр для предотвращения выбросов золы из бункера-накопителя;

модернизирована система увлажнения золы, изменена конструкция системы увлажнения, установлен расходомер на линии подачи воды на увлажнение. Разработана и внедрена математическая модель: (i) учета отгруженной золы (сухой и влажной); (ii) влажности золы по производительности ячеистого распределителя и по расходомеру на линии увлажнения; (iii) количества единиц автотранспорта в сутки для вывоза золы;

модернизирована установка умягчения воды;

модернизирована система нейтрализации кислых стоков;

разработан алгоритм, который при изменении характеристик сжигаемого осадка регулирует другие материальные потоки таким образом, чтобы компенсировать количество теплоты, вносимой в печь. Это позволило поддерживать постоянную температуру в печи при снижении потребления природного газа.

Продукты сгорания осадков (дымовые газы) проходят трехступенчатую мокрую очистку. Первая ступень - электрофильтры для удаления из дымовых газов золы. На следующих стадиях осуществляется мокрая очистка. Для обеспечения высокой эффективности процесса контролируются величина pH циркулирующего (поглотительного) раствора, температура дымовых газов на выходе абсорбционного аппарата, концентрации растворенных солей в циркулирующем растворе. При этом производится автоматическое дозирование реагента (абсорбента), подпитка свежей водой циркуляционного оросительного контура и слив насыщенного раствора абсорбента на установку нейтрализации или очистки сточных вод.

В соответствии с планом-графиком, в санитарно-защитной зоне ЦСА независимой аккредитованной лабораторией проводится анализ состава атмосферного воздуха, результаты замеров которого представлены в таблице. 14

Таблица 14.

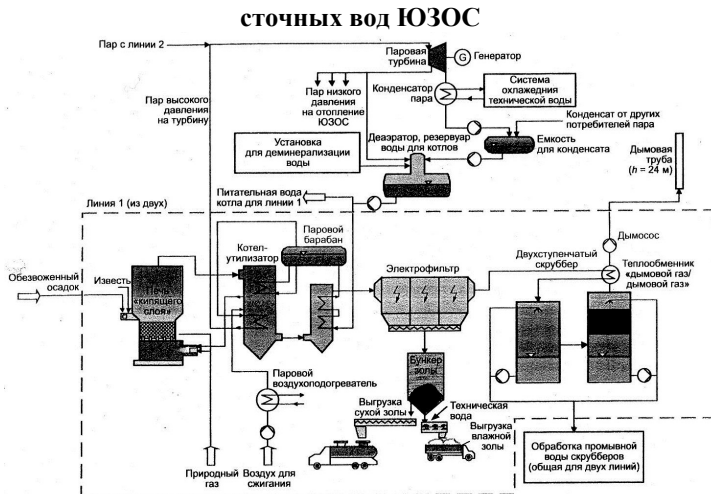
Показатель, нг/м3	Фактическое значение	пдк
Диоксид азота	0,01-0,047	0,2
Аммиак	0,025-0,158	0,2
Дигидросульфид	< 0,005	0,008
Смесь углеродов сопредельных C1—C5	< 1	50
Смесь природных меркаптанов	< 0,00005	0,00005
Диоксины и фураны (в пересчете на 2,3,7,8-ТХДЛ)	0,0407-0,145	0,5

Завод сжигания осадка на ЦСА является ярким примером успешного решения сложных экологических проблем глубокой утилизации осадка на базе современной технологии, техники, процессов автоматизации и компьютеризации процессов очистки вод и обработки осадка. В 2007 г. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» введены еще два завода: на Северной станции аэрации (ССА) и на Юго-Западных очистных сооружениях (ЮЗОС).

При строительстве аналогичных заводов сжигания осадка на ССА и ЮЗОС максимально учтены все недочеты, выявленные в ходе эксплуатации завода на Центральной станции аэрации. Технологически заводы сжигания осадка ЮЗОС и ССА по сравнению с первым заводом на ЦСА более совершенны, имеют более эффективные технологии очистки дымовых газов; образующееся тепло используется для выработки электроэнергии и обогрева площадок очистных сооружений (для этого предусмотрены турбогенераторы и соответствующее оборудование).

Производительность завода по сжиганию осадка на ЮЗОС составляет 68 т/сут по сухому веществу для двух печей (рис. 24). Для снижения концентрации оксидов серы в дымовых газах предусмотрено добавление извести в печи. Система очистки газов аналогична системе на ЦСА, но усовершенствована и более эффективна. Первая ступень-улавливание золы в электрофильтрах.

Рисунок 24. Технологическая схема завода по сжиганию осадка



Усовершенствование мокрой очистки газов заключается в том, что для эффективной очистки от ртути на второй стадии в насадочный абсорбер вводится специальный реагент TMT15 [тринатриевая соль тримеркапто-S-триазина $C_3N_3S_3Na_3(3H_2O)$]. Этот реагент предназначен для химического связывания ртути в циркулирующей жидкости скруббера, чем обеспечивается более высокая эффективность удаления ртути, а также кадмия и некоторых других тяжелых металлов. Сточные воды от мокрой газоочистки на ЮЗОС соответствуют требованиям Директивы ЕС № 2000/76 в отношении концентраций опасных веществ в сточных водах систем газоочистки мусоросжигательных заводов.

Производительность завода сжигания осадков ССА составляет 122,4 т/сут по сухому веществу для трех печей, а с учетом резервной мощности четвертой печи составит 183,6 т/сут. Технологическое отличие завода по сжиганию осадка на ССА от завода на ЦСА состоит в следующем. На ССА применена более современная система сухой очистки дымовых газов, которая заменяет мокрую систему газоочистки. При сухом способе используются преимущественно высокоактивные адсорбенты, а также вещества, нейтрализующие кислотообразующие газы. В таких системах от процессов газоочистки не образуются сточные воды, которые обычно возвращаются в голову очистных сооружений.

В системе сухой обработки газов на ССА в поток дымовых газов вводятся два сухих реагента - бикарбонат натрия ($NaHCO_3$) и активированный уголь. Смесь дымовых газов реагирует с введенными реагентами и далее поступает в рукавный фильтр, где отработавший реагент с уловленными загрязняющими веществами задерживается и собирается в бункере отходов. Для фильтрации используются высокотехнологичные фильтрующие материалы, изготовленные на основе фторопласта (тефлона), что обуславливает химическую стойкость к агрессивным компонентам топочных газов, высокую надежность и эффективность очистки фильтрующей системы. С целью повышения эффективности использования реагента часть его рециркулируется из бункера отходов обратно в поток топочных газов, куда также поступает свежий реагент. Отработавший реагент из бункера отходов

непрерывно отводится в накопительную емкость для временного хранения перед выгрузкой в автотранспорт. Далее этот отход направляется на специальный полигон для захоронения.

Зола от сжигания осадков сточных вод преимущественно состоит из мелкодисперсной минеральной пыли, двуокиси кремния, оксидов фосфора, алюминия, железа и других металлов. Зола относится к IV классу опасности, а ее объемы составляют для трех заводов около 120 тыс. т/год. Поиск способов утилизации золы начался одновременно с пуском в эксплуатацию завода по сжиганию осадка сточных вод в 1997 г.

На основании результатов биохимических, токсикологических, химических и радиологических исследований золы разработаны временные технические условия и получен гигиенический сертификат по использованию золы в строительных материалах. Первое направление работ - использование золы при производстве керамического кирпича на НПО «Керамика», где была выпущена партия кирпича с добавлением золы от сжигания осадков ЦСА. Однако по ряду причин это направление не получило дальнейшего развития.

Другим направлением утилизации было использование золы в производстве ячеистых строительных материалов и золобетонов. Исследования по этому направлению проводились кафедрой «Инженерная химия и ЗОС» Петербургского университета путей сообщения совместно с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Были разработаны технические условия на «Изделия строительные из золобетонов», получены сертификаты на них. Кафедрой организована наработка опытно-промышленной партии золобетона. Но использование золы в производстве всех марок бетонов (легких, средних, тяжелых) нецелесообразно из-за незначительного количества добавляемой золы - до 5%. Более перспективно ее применение при получении пенозолобетонов, где содержание золы может составлять до 30%.

Совершенно другим направлением в переработке золы явилось ее плавление в электропечах, проведенное в ОАО «Институт Гипроникель». При высокой температуре происходит переход золы в стеклообразное состояние. При этом значительно уменьшается объем зольного остатка. Большинство соединений тяжелых металлов переходит в связанное состояние, что значительно снижает их активность при контакте с окружающей средой. Полученный стеклообразный материал охлаждают водой и получают стеклянную крошку, которая после просеивания может использоваться в производстве напольной плитки, абразивов, шиферной кровли, асфальта, герметичных заполнителей. Плотность полученного материала $2,74 \text{ м}^3$, уменьшение объема по сравнению с исходной золой более чем в 4 раза. Однако затраты по электроэнергии составляют около 800 кВт·ч на 1 т золы, стоимость строительства одной печи составит около 500 тыс. долларов. Наиболее реальным и перспективным направлением является использование золы в производстве пенобетона, так как содержание золы в этом материале может составлять 20-25%.

Ведутся также исследования по получению из золы фосфорных удобрений.

Экологическая эффективность при сжигании осадка сточных вод заключается в следующем: прекращается складирование необеззараженного осадка и отпадает необходимость в строительстве новых полигонов; сокращается выброс выхлопных газов от автомобильного транспорта; отсутствуют выбросы в атмосферу от мест временного складирования осадка; очистка дымовых газов от печей сжигания осуществляется в соответствии с российскими и международными стандартами; вырабатывается 45 тыс. кВт·ч/сут электроэнергии; использование тепла, получаемого от сжигания осадков, для отопления и горячего водоснабжения очистных сооружений.

Успешная эксплуатация завода сжигания осадка на Центральной станции аэрации подтвердила правильность выбранного направления утилизации осадков сточных вод.

Санкт-Петербург является единственным мегаполисом в мире, полностью решившим проблему утилизации всего объема обезвоженного осадка сточных вод путем сжигания.

Нормальный процесс горения в печах поддерживается за счет органической составляющей обезвоженного осадка, который в данном случае рассматривается как топливо. Содержание органической части в большинстве осадков колеблется от времени года и прочих условий и составляет порядка 40-50%. Горение осадка происходит при температуре 850°C в течение 2-5 с. Осадок подается непосредственно в слой песка насосами через форсунки. В процессе сжигания осадка выделяется теплота, которая частично утилизируется для подогрева дутьевого воздуха, остальная ее часть используется для отопления помещений станций и жилых близрасположенных кварталов.

Рисунок 25

**Технологическая схема обработки осадка
канализационных станций городов**



1-вариант-«мокрый» способ газоочистки 2-вариант-«сухой» способ

газоочистки

При проектировании установок пылегазоочистки заложены наиболее жесткие украинские и европейские требования к выбросам загрязняющих веществ [71]. Очистка дымовых газов осуществляется в три стадии по двум вариантам: электрофильтр, кислотная промывка; щелочная промывка. Это первый вариант «мокрой» пылегазоочистки. Второй вариант «сухой» пылегазоочистки предусматривает добавку после электрофильтра в дымовые газы бикарбоната натрия и активированных углей (АУ), а затем поступление газов на рукавные фильтры.

Улавливание золы происходит в основном на электрофильтрах, эффект задержания золы составляет 99,9%.

За счет следующих 2-х ступеней дымовые газы очищаются от соединений тяжелых металлов, фосфора и серы.

Таблица 15. Химический состав золы осадков

Показатель	Массовая доля, %	Показатель	Массовая доля, %
SiO ₂	54,2	Co	0,053
Al ₂ O ₃	14,3	S	0,51
MgO	3,1	C	0,18
CaO	7,4	Mn	0,33
Fe	8,3	Na	0,93
P ₂ O ₅	11,3	K	4,8
Ni	0,033	Ti	0,61
Cu	0,077	Cr	0,059
Cd	0,0033	Zn	0,354
H ₂ O	0,8		

Зола представляет собой пылящий материал с насыпной массой 600-750 кг/м³ в естественном состоянии и 780-850 кг/м³ в сухом состоянии, влажность золы не более 25%

массы.

Вопрос утилизации золы может быть решен при производстве кирпича, керамзита, пенобетона и фосфорных удобрений, а также при рекультивации

полигонов для складирования осадков сточных вод и при строительстве автомобильных дорог.

С пуском нового технологического комплекса по обработке осадков будут отменены ежегодные отчуждения из хозяйственного и культурно-социального оборота земли из наиболее ценной пригородной зоны, что весьма важно для сохранения среды обитания и отдыха населения поселков, городов и пригородов.

В 2010 г. Санкт-Петербургским [72,73] научно - исследовательским центром экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН) по заказу ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» создана и введена в эксплуатацию биоэлектронная система контроля газовых выбросов завода по сжиганию осадков сточных вод Юго-Западных очистных сооружений. В результате разработана и введена в эксплуатацию оригинальная станция биологического мониторинга, в основу которой положен длительный мониторинг в реальном времени функционального состояния биоиндикаторов: легочных моллюсков - гигантских африканских улиток *Achatina fulica* и *Achatina achatina*. Станция обеспечивает непрерывный производственный контроль динамики газовых выбросов завода по сжиганию осадков очистных сооружений с помощью биоэлектронной системы на основе разработанных в НИЦЭБ РАН неинвазивных методов контроля за функциональным состоянием моллюсков, выполняющих биоиндикаторные функции.

Комплексная программа утилизации технологических отходов, разработанная в НТЦ «Технологии XXI века» совместно с научными сотрудниками СПбГУ и СПбЗНИИПИ и при участии специалистов Правобережного Водоканала ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», включает совместную переработку золы сжигания иловых осадков, осадка песколовок, отходов сухой газоочистки (комплекса сжигания осадка), а также обезвоженного осадка водопроводной станции.

Интеграционная минерально-матричная технология переработки отходов, основанная на теории синтеза вяжущих веществ в дисперсных минеральных средах, позволяет в ходе комплексной переработки отходов коммунальных очистных сооружений производить утилизацию золы от сжигания илового осадка с получением экологически безопасных композиционных материалов, пригодных для применения в различных областях строительства.

Технология утилизации золы использует химически активные компоненты отходов при синтезе композиционного материала и обеспечивает химическую трансформацию токсичных компонентов в ходе щелочного гидролиза алюмосиликатов глинистых пород, а также комплексную переработку всех видов отходов станции аэрации с их одновременным обезвреживанием и утилизацию золы сжигания иловых осадков (до 50-60 % по массе). Для интенсификации процессов обезвреживания отходов и повышения прочности конечного продукта целесообразно применять небольшие добавки извести, цемента и глины.

При утилизации золы получают композиционный материал в виде укрепленного техногенного грунта (ГУТ), применяемого для подсыпки территории под строительство, устройства оснований и конструктивных слоев дорожных покрытий, ямочного ремонта, а также в качестве укрывного материала при рекультивации полигонов промышленных и бытовых отходов.

Предлагаемый способ утилизации позволит перерабатывать все виды технологических отходов Правобережного Водоканала в техногенные грунты, что обеспечит прекращение их накопления на полигонах размещения осадков.

Технологическую линию комплексной утилизации отходов предлагается разместить в отапливаемом здании размером 18 х 42 м, оборудованном опорным однобалочным краном грузоподъемностью 10 т.

Технологические операции получения ГУТ включают:

Приготовление порошкообразных композитных смесей. Порошкообразные материалы (цемент, известь, комплексообразователь) из силосов объемом 15 м³ шнеками подаются на ленточные весовые дозаторы, которые по рецептуре обеспечивают соотношение компонентов для приготовления порошковых смесей. С ленточных дозаторов порошковые компоненты поступают в шнековый предварительный смеситель, где происходит их предварительное смешивание и перемещение в смеситель порошков. После смесителя достигается однородность порошковой смеси. Из смесителя порошковая композитная смесь шнековым транспортером в дозированном соотношении с основной массой подается в смеситель приготовления ГУТ.

Приготовление активного компонента ГУТ. В смеситель приготовления активного компонента ГУТ в дозированном соотношении подаются: порошковая композитная смесь, зола, осадок песколовок, обезвоженный осадок водопроводных станций, глина, песок. Зола загружается в приемный бункер-накопитель, откуда шнековым питателем и элеватором подается в расходный бункер золы, оснащенный винтовым питателем-дозатором. Дозатор обеспечивает требуемую дозировку золы в шнековый транспортер, подающий ее в смеситель приготовления активного компонента ГУТ.

Осадок песколовок и глина доставляются самосвалами и загружаются в соответствующие бункеры-накопители, под которыми установлены ящичные питатели, обеспечивающие равномерную дозированную подачу на ленточный конвейер, транспортирующий их в загрузочную воронку шнекового транспортера подачи в смеситель приготовления активного компонента ГУТ.

Обезвоженный осадок водопроводных станций доставляется автотранспортом в цех в технологических контейнерах объемом 3 м³, технологическим краном с использованием грузозахватного устройства устанавливаются на опрокидыватель-выгрузатель контейнеров в приемно-

дозировочную емкость обезвоженного осадка водопроводных станций, откуда обезвоженный осадок в дозированном количестве поступает в смеситель.

Таблица 16.

Товарная продукция	Номинальный выход, т/с
ГУТ повышенной прочности	196-280
Растительный грунт	162-210
Гидроизоляционные материалы	184-220
ГУТ рекультивационный	184-232

Приготовление ГУТ. В смеситель приготовления ГУТ подаются в дозированном соотношении активный компонент ГУТ, песок, торф, порошковые композитные смеси и обезвоженный осадок водопроводных станций. Песок из бункера шнековым выгрузателем подается на элеватор и далее в расходный бункер песка, откуда питателем-дозатором (в требуемом количестве) поступает в смеситель приготовления ГУТ.

Для обеспечения гарантированного качества ГУТ из смесителя подается шнековым транспортером в безвакуумный шнековый пресс для уплотнения, после чего ленточным транспортером готовая продукция подается в расходный бункер ГУТ для отгрузки потребителям.

В табл. 16 приведены возможные виды товарной продукции (с указанием объемов), производимой цехом в ходе комплексной переработки отходов Правобережного Водоканала ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Внедрение технологии утилизации отходов планируется на Северной станции азрации ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Для производства удобрений PHOSKRAFT из золы осадков не требуется извлечения природных ископаемых из иссякающих месторождений апатитов и фосфоритов, а в получаемом продукте концентрация кадмия и радионуклеидов меньше, чем в апатитовом концентрате от поставщиков, например, из Северной Африки. Технология фирмы «ASH DEC» [74], дает неоспоримые экологические преимущества. Однако только этого фактора недостаточно, чтобы рекомендовать технологию для применения в России, где экологические проекты пока еще не пользуются адекватной политической и экономической поддержкой.

Вторым важнейшим достоинством технологии является ее неоспоримая экономическая выгода. Для производства удобрения PHOS- KRAFT не требуется уникального оборудования или дефицитных расходных материалов. Исходное сырье - зола является продуктом с отрицательной стоимостью, в большинстве стран

за ее сбор и утилизацию производители доплачивают от 20 до 30 евро/т. В то же время уровень цен на чистый фосфорсодержащий гранулят и удобрения в России находится на европейском уровне и нет тенденции его снижения. Предварительные расчеты, проведенные для производственного модуля на 16 тыс. т/год, показывают, что прибыль составляет порядка 30 евро за каждую тонну произведенного гранулята.

Технология фирмы «ASH DEC» наглядно иллюстрирует, что в области утилизации золы от сжигания осадка сточных вод возможно достичь оптимального сочетания экологических преимуществ и экономической выгоды. Технологию можно рекомендовать для применения в России на работающих и строящихся заводах по сжиганию осадков сточных вод.

Глава 6.

Современные методы обработки и утилизации осадков, содержащих тяжелые металлы.

*... Давно не має риби в цих місцях
Лише жаби ще дають свої концерти.
Був біль, був розпач, був тваринний страх -
Тепер ріка готова просто вмерти.
Стоїть людина вище від усіх.
Творіння Боже, що ж ти натворило?!!!
Берешь на душу не простимий гріх,
Бо саме ти оцю ріку згубило!
За все в отвіті ми на цій землі.
Перед собою і своїм сумлінням:
За океани й річечки малі
Спитає в нас прийдешнє покоління.
Передамо їм вічну цю красу
Чи лишим по собі самі руїни?
... Цю річку в голубу твою красу
Вплету тобі, кохана Україно!*

Гошкович Інна, Студенка ДНУЗТ.

6.1. Краткая характеристика тяжелых металлов.

В настоящее время в числе основных и опасных загрязнителей объектов окружающей среды, в частности водной среды, в крупных промышленных центрах все чаще рассматривают химические элементы с атомной массой более 50 и их соединения - это соли (или ионы) тяжелых металлов [75]. Эти соединения образуют значительную группу токсикантов, которые определяют антропогенное воздействие на экологическую структуру окружающей среды и на самого человек. Это связано со все возрастающим масштабами производства и применения тяжелых металлов, их

высокой токсичностью, способностью накапливаться в организме человека, оказывать вредное влияние даже в сравнительно небольших концентрациях.

К тяжелым металлам относят более 40 химических элементов с относительной плотностью более 6 г/м³. В настоящее время из них приоритетными загрязнителями признаны ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, медь, ванадий, олово, цинк, сурьма, малибден, кобальт, никель и др.

Опасность загрязнения среды тяжелыми металлами объясняется тем, что они вечны, ибо в отличие от органических загрязнителей они не разрушаются, а лишь переходят из одной формы существования в другую, в частности, включаются в состав солей, оксидов, металлоорганических соединений, хелатов и др.

Экологически неблагоприятная обстановка в Украине усиливается тем, что в результате Чернобыльской катастрофы возникла реальная угроза одновременного действия на организм человека радионуклидов, тяжелых металлов, пестицидов и других техногенных загрязнителей окружающей среды. Тяжелые металлы поступают в организм человека и животных в основном с растительной пищей, воздухом и водой [76].

При недостаточной очистке сточных вод ионы тяжелых металлов, попадая в водоемы и подземные горизонты, отрицательно влияют на обитающие в них организмы и растения, накапливаются в них. Вот почему проблема очистки промышленных стоков и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей с каждым годом приобретает все большее значение

К «тяжелым» металлам (ТМ) относят более 40 химических элементов периодической системы с атомными массами свыше 50 а.е.м. иногда ТМ называют элементы, которые имеют плотность >7-8 тыс. кг м³ (кроме благородных и редких).

К числу тяжелых металлов относят хром (Cr), марганец (Mn), железо(Fe), кобальт (Co), никель (Ni), медь (Cu), цинк (Zn), галлий (Ga), германий (Ge), молибден (Mo), кадмий (Cd), олово (Sn), сурьму (Sb), теллур (Te), вольфрам (W), ртуть (Hg), таллий (Tl), свинец (Pb), висмут (Bi).

Главным природным источником ТМ являются породы (магматические и осадочные) и породообразующие минералы.

Поступление ТМ в биосферу вследствие техногенного рассеяния осуществляется разнообразными путями и всеми видами хозяйственной деятельности. По преобладанию особо токсичных элементов в загрязнителях, антропогенные источники можно охарактеризовать следующим образом:

сжигание угля - Se, As, Zn, Yg; V;

цветная металлургия - Se, As, Sb, Cu, Ag, Sr, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, Bi, Mo, W, Co, Ni;

лакокрасочная промышленность - Cu, Se, Sb, Sr, Zn Cd, Hg, Al, Sn, Pb, V, Cr, Mo, W, Co;

гальваническое производство - Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Al, Sn, P, Bi, Cr, Ni;
полиграфия - Se, As, Zn, Hg, Pb, V, Co, Ni;
производство аккумуляторов - Cu, Ag, Sr, Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Bi, Ni, Zr;
текстильная промышленность - Se, Sb, Al, Sn, Pb, V, Cr, W;
производство стекла - Se, As, Sb, Ag, Zn, Cd, Al, Pb, V, Sr, Co;
бытовой мусор и хозяйственно-бытовые сточные воды - Cu, Ag, Zn, Cd, Hg,
Sn, Pb, Si, Cr, Mo;
автотранспорт - Pb, Sn;
химическая обработка растений - As, Cu, Zn, Pb, Co, Hg, F, B, Sn, Bi;
фосфорные минеральные удобрения - Sr, F, Pb, Cu, U, As.

Техногенная пыль, которая выбрасывается при высокотемпературных процессах (черная и цветная металлургия, обжиг цементного сырья, сжигание минерального топлива и др.) также загрязняет биосферу. В частности, пыль от предприятий цветной металлургии содержит в среднем 6,72 % Zn, 0,11 % Pb и 0,01 % Cd, а аномалия наблюдается в радиусе 7 км.

Сам же выброс пыли от таких предприятий распространяется в атмосфере в радиусе 10... 40 км от источника загрязнения, оседая на растениях, водоемах и почву, проникая вглубь почвы на 10-15 см. Поэтому сельскохозяйственные культуры, произрастающие в промышленных регионах, накапливают ТМ таких выбросов (Ni, Co, Cu, Mo, Pb, Zn) в 1,5-2 раза выше предельно допустимых уровней.

Кроме того, источником загрязнения биоценозов (As, Cd, Co, Cr, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn) могут служить орошение водами с повышенным содержанием ТМ, внесение осадков бытовых сточных вод в почвы в качестве удобрения, вторичное загрязнение вследствие выноса ТМ из отвалов рудников или металлургических предприятий водными или воздушными потоками, поступление больших количеств ТМ при постоянном внесении высоких доз органических, минеральных удобрений и пестицидов, содержащих ТМ.

На гидрохимический режим поверхностных вод Центрального и Западного Донбасса влияют сбросы шахтных вод и отвалы шахтных пород. Так, среднее содержание ТМ в р. Волчьей в мг/л: Mn - 54; Fe - 134,3; Zn - 62,9; Ni - 28,8; Cr - 12,1; Cu - 14,7; Cd - 16,3; Pb - 51,6; Co - 32,3. Для большинства металлов не наблюдается превышения ПДК, за исключением Pb и Cd. Это обусловлено тем, что значительная часть поступающих в реку ионов ТМ сорбировалась донными отложениями. Однако способность реки к самоочищению ограничена и при дальнейшей техногенной нагрузке, что показали дальнейшие наблюдения, тенденция к увеличению содержания ТМ превысила все допустимые ПДК в 1,5...25 раз. Таким образом, негативное влияние угледобывающей промышленности на качество речных вод выражается в повышении их минерализации и увеличении содержания ТМ.

Источники поступления ТМ в окружающую среду делятся на стационарные и подвижные. Основными стационарными источниками являются предприятия горно-металлургической отрасли, топливно-энергетического и химического комплексов, машиностроение, производство строительных материалов, стекольные предприятия, целлюлозно-бумажная и оборонная промышленность, полигоны твердых бытовых и промышленных отходов. Подвижными источниками являются все виды транспорта, особенно авто и железнодорожный транспорт, авиация, ракетно-космическая техника и др.

6.2 Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков

Техническая политика в области утилизации осадков городских сточных вод, соответствующая стандартам законодательства Европейского Союза (ЕС), приобретает все большее значение для государств, которые в ближайшее время намерены присоединиться к ЕС. Действующее законодательство ЕС в области утилизации осадков сточных вод ужесточено, особенно в отношении содержания тяжелых металлов. Этот факт является существенным для поиска новых технологий по утилизации осадков, необходимых не только странам-членам ЕС, но и кандидатам [77].

Среди государств - кандидатов в ЕС укрепляется сознание, что современное понимание процесса очистки сточных вод неразрывно связано с оптимальным решением проблемы утилизации осадков. Нельзя завершить процесс очистки сточных вод, не имея эффективного и экологически безопасного способа утилизации осадков. Уже в ближайшее время применяемые на сегодняшний день способы захоронения осадков, вывоз на полигоны и даже сельскохозяйственное использование не будут допускаться законодательством ЕС. Это относится, прежде всего, к осадкам сточных вод, образующихся в больших городах, где по разным причинам наблюдается резкое увеличение содержания тяжелых металлов. Похожая ситуация наблюдается при утилизации осадков природной воды, однако эти осадки менее опасны для окружающей среды и здоровья человека.

Поэтому в странах ЕС и в частности в Польше предпринимается ряд мер по разработке оптимальных вариантов утилизации осадков сточных вод. В Польше это подтверждается многочисленными разработками и инвестиционными проектами, проводимыми предприятиями по очистке стоков. Для выполнения этих работ привлекаются средства ЕС в рамках фонда ISPA (Instrument of Structural Policies for PreAccession), которые позволяют в значительной степени финансировать реализацию этих инвестиций. Доля финансовых средств ЕС в инвестициях составляет примерно

50-70 %, остальные средства поступают от европейских или польских банков в кредит.

В Польше разработки и инвестиции в области утилизации осадков регулируются польским законодательством по охране окружающей среды, в том числе по очистке стоков и по осадкам. За последние два года это законодательство основательно пересмотрено и в настоящее время полностью соответствует законодательству ЕС.

Диапазон рассматриваемых в Польше решений по проблемам утилизации осадков сточных вод очень широк. Все чаще, особенно для осадков сточных вод больших городов, разрабатываются концепции по их сжиганию. В настоящее время в польское законодательство внедряется Директива ЕС 2000/76/EC (Official Journal L 332, 28.12. 2000, р. 91), которая регулирует вопросы, связанные с совместным сжиганием всех групп отходов, в том числе осадков сточных вод. Директива определяет условия процесса сжигания и требования по отводу газов, образующихся при сжигании только отходов или совместно с осадками.

В связи с жесткими требованиями ЕС к сельскохозяйственному использованию осадков все более привлекательной становится их термическая утилизация. Эти требования касаются увеличения содержания тяжелых металлов в сточных водах, а следовательно, и в осадках. Требования сформулированы и приняты 27 апреля 2000 г. в Брюсселе на основе Рабочего документа по осадкам (Working Document on Sludge), в котором предложены существенные изменения действующей Директивы ЕС 1986/278/EEC (Official Journal L 181, 04.07.1986, р. 6) по охране окружающей среды при сельскохозяйственном использовании осадков. Кроме того, некоторые положения Директивы ЕС 1999/31/ EC (Official Journal L 182, 16.07.1999, р. 18) по захоронению отходов на полигонах увеличивают заинтересованность в сжигании осадков сточных вод. Это следует из ст. 5.2. Директивы, которая требует значительного уменьшения количества складироваемых на полигонах биологически разлагаемых отходов. Осадки сточных вод принадлежат к этой группе отходов, так как в основном содержат органические вещества.

Таблица 17.Направление утилизации осадков в странах ЕС

Способ утилизации осадков сточных вод в странах ЕС	Объемы по данным за 1998 г %	Прогнозы на 2005 г., %
Складирование	48	10
Использование в сельском хозяйстве	32	45
Сжигание	13	38
Компостирование	2	7
Сброс в море *	5	0
* В ЕС существует запрет от 31 декабря 1998 г. на сброс осадков в море.		

К сожалению, в Польше, как и в Украине, складирование осадков на полигонах является основным способом их утилизации. Поэтому требования, записанные в Директиве, необходимо рассматривать как предпосылку к более широкому использованию термических методов, особенно при ограниченных возможностях почвенной утилизации осадков.

Тенденции и методы утилизации осадков в законодательстве ЕС

В странах ЕС наблюдается тенденция снижения объемов осадков, складироваемых на полигонах, а соответствующее законодательство накладывает на владельцев очистных сооружений обязательство интегрального решения проблемы осадков сточных вод. Например, в Германии с 2005 г. - запрещено складирование таких осадков.

На основе представленных в табл. 17 данных за 1998 г. можно проследить направления утилизации осадков в странах ЕС и увеличение доли термической утилизации. Последние данные за 2001 г. подтверждают отказ от сельскохозяйственного использования осадков. В некоторых странах ЕС (в Дании и Швеции) местная общественность отказывается от любого сельскохозяйственного использования осадков, опасаясь болезни коровьего бешенства, и отдает предпочтение сжиганию как единственному способу утилизации.

В табл. 18 приведено количество осадков, образующихся при очистке коммунальных стоков в странах ЕС и Польше, по данным за 1999 г.

Законодательство ЕС в области утилизации осадков сточных вод.

К законодательству ЕС, регулирующему вопросы водоподготовки и утилизации осадков сточных вод, относятся следующие Директивы:

Директива 86/278/ЕЕС от 12 июня 1986 г. по охране окружающей среды, и особенно почвы, в связи с использованием осадков в сельском хозяйстве. Это основная Директива, называемая сокращенно Директивой по осадкам. Ее дополняет

Рабочий документ по осадкам, который вносит ряд требований, обеспечивающих минимальный риск для окружающей среды при использовании осадков в сельском хозяйстве;

Таблица 18. Количество осадков, образующихся при очистке коммунальных стоков в странах ЕС.

Страна	Население, млн. чел.	Количество осадков, т/год по сухому	Количество осадков на одного жителя, кг/год по сухому
Бельгия	9,9	59200	5,98
Дания	5,1	170300	33,39
Франция	56,9	852300	14,98
Германия	79,7	2681200	33,64
Греция	10,2	48000	4,71
Ирландия	3,5	36700	10,49
Италия	57,7	816000	14,14
Люксембург	0,4	7900	19,75
Голландия	15	322900	21,53
Португалия	9,9	25000	2,53
Испания	39	350000	8,97
Великобритания	57,5	1107000	19,25
ЕС - в среднем	344,8	6476000	18,78
Польша	39	354400	9,1

Таблица 19.

Показатель	Допустимое содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг по сухому веществу			
	Директива 86/278	предложенные изменения в Рабочем документе по осадкам		
	6 < pH < 7	5 < pH < 6	6 < pH < 7	pH > 7
Кадмий	1-3	0,5	1	1,5
Хром	-	30	60	100
Медь	50-140	20	50	100
Ртуть	1-1,5	0,1	0,5	1
Никель	30-75	15	50	70
Свинец	50-300	70	70	100
Цинк	150-300	60	150	200

Директива 91/271/ЕЕС по очистке коммунальных стоков вместе с изменениями, введенными Директивой 98/15/ЕС. Она относится не только к бытовым стокам, но и к промышленным, сбрасываемым в канализацию;

Директива 98/83/ЕС по качеству питьевой воды;

Директива 2000/60/СЕ по созданию основ для проектов в области водной политики в странах ЕС.

Кроме того, в странах ЕС действуют Директивы, связанные с ограничением сбросов в канализацию ряда опасных веществ:

Директива 80/68/ЕЕС по охране подземных вод от загрязнений, вызванных некоторыми опасными веществами, совместно с изменениями, введенными Директивой 91/692/ЕЕС;

Директива 82/176/ЕЕС по ПДК в сточной воде ртути, образующейся при промышленном электролизе хлоридов щелочных металлов, совместно с изменениями, введенными Директивой 91/692/ЕЕС;

Таблица 20.

Показатель	Допустимое содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод		
	мг/кг по сухому веществу		мг/кг фосфора
	Директива	предложенные изменения	
Кадмий	20-40	10	250
Хром	-	1000	25000
Медь	1000-1750		
Ртуть	16-25	10	250
Никель	300-400	300	7500
Свинец	750-1200	750	18750
Цинк	250-4000	2500	62500

Таблица 21.

Показатель	Среднесрочные планы до 2015 г.		Долгосрочные планы до 2025 г.	
	допустимое содержание тяжелых металлов			
	в осадках, используемых в сельском хозяйстве, мг/кг	которое может вводиться в почву в течение 10 лет, г/(гагод)	в осадках, используемых в сельском хозяйстве, мг/кг по	которое может вводиться в почву в течение 10 лет, г/(га-
Кадмий	5	15	2	6
Хром	800	2400	600	1800
Медь				
Ртуть	5	15	2	6
Никель	200	600	100	300
Свинец	500	1500	200	600
Цинк	2000	6000	1500	4500

Директива 84/156/ЕЕС по ПДК в сточной воде ртути, образующейся при производственных процессах в других отраслях промышленности, совместно с изменениями, введенными Директивой 91/692/ЕЕС;

Директива 83/513/ЕЕС по ШДК в сточной воде кадмия совместно с изменениями, введенными Директивой 91/692/ЕЕС;

Директива 84/491/ЕЕС по ПДК в сточной воде гексохлоро- циклогексана;

Директива 83/513/ЕЕС по ПДК в сточной воде некоторых загрязняющих веществ, включенных в перечень, являющийся приложением к Директиве 76/464/ЕЕС, вместе с изменениями, введенными Директивами 88/347/ЕЕС, 90/415/ЕЕС и 91/692/ЕЕС;

Директива 91/676/ЕЕС по охране воды от загрязнений, вызванных нитратами, используемыми в сельском хозяйстве.

Директива 86/278/ЕЕС по охране окружающей среды, особенно почвы, в связи с использованием осадков в сельском хозяйстве (Official Journal L 181, 04.07.1986, р. 6) и Рабочий документ по осадкам (Working Document on Sludge)

-это основные документы ЕС, регламентирующие утилизацию осадков сточных вод, а также их применение в сельском хозяйстве. В табл. 19-23 представлен ряд требований к осадкам сточных вод, которые записаны в этих документах.

Требования к процессам переработки сточных вод в соответствии с Рабочим документом по осадкам. В соответствии с предложениями, содержащимися в Рабочем документе по осадкам, принято, что для снижения вероятности попадания в окружающую среду санитарно-опасных микроорганизмов и укрепления доверия потребителей необходимо ввести в законодательство требования

по переработке осадков. Осадки сточных вод, которые не прошли соответствующую переработку, не должны использоваться.

Таблица 22.

Область применения	Метод утилизации осадков	
Пастбища	Углубленная переработка	Обычная переработка; без выпаса животных в течение 6 недель после глубокого внесения осадков
Кормовые культуры		Обычная переработка; без сбора урожая в течение 6 месяцев после внесения осадков
Поля		Обычная переработка; глубокое внесение осадков
Выращивание фруктов и овощей		Без переработки; без сбора урожая в течение 12 месяцев после применения осадков
Выращивание фруктов и овощей, употребляемых в сыром виде		Без переработки; без сбора урожая в течение 30 месяцев после внесения осадков
Сады, виноградники, плантации деревьев, повторные лесопосадки	Углубленная переработка, только стабильные осадки без запаха	Обычная переработка; без доступа людей в течение 10 месяцев после глубокого внесения осадков
Парки, зоны отдыха		Без переработки
Леса		
Восстанавливаемые территории	Углубленная переработка	Обычная переработка; без доступа людей в течение 10 месяцев после внесения осадков

Таблица 23.

Показатели	Минимальное количество испытаний в год при количестве осадков, получаемых на очистных сооружениях, т/год на сухому веществу				
	<250	250-1000	1000-2500	2500-4000	>4000
Сельскохозяйственные	2	4	8	12	12
Тяжелые металлы	2	4	4	8	12
Органические вещества	-	1	2	4	6
Диоксиды	-	-	-	1	1
Микроорганизмы	2	4	8	12	12

К углубленным процессам переработки относятся:

термическая сушка, обезвоживание до влажности менее 10 %;

термическая аэробная стабилизация при температуре минимум 55 °С в течение 20 ч;

термическая анаэробная стабилизация при температуре минимум 53 °С в течение 20 ч;

термическая переработка жидкого осадка в течение минимум 30 мин при температуре 70 °С с последующей мезофильной анаэробной ферментацией при температуре 35 °С в течение 12 дней;

обработка известью при pH 12 или более и температуре 55 °С в течение 2 ч.

К обычным процессам переработки относятся:

термическая аэробная стабилизация при температуре 55 °С в течение 20 дней;

термическая анаэробная стабилизация при температуре 55 °С в течение 20 дней;

обработка известью, обеспечивающая гомогенную смесь извести и осадка, при pH выше 12, поддерживаемом в течение 24 ч;

мезофильная аэробная ферментация при температуре 35 °С в течение 15 дней.

Новым элементом, предлагаемым Рабочим документом по осадкам, является сертификация показателей осадков: сельскохозяйственных, содержания тяжелых

металлов, органических веществ и микроорганизмов в соответствии с требованиями, представленными в табл. 23.

Законодательство ЕС в области отдельного или совместного сжигания осадков сточных вод

Требования по отдельному сжиганию осадков сточных вод или совместному с топливом или в печах по производству цемента указаны в **Директиве 2000/76/ ЕС** (Official Journal L 332, 28.12. 2000, p. 91).

Эта Директива регулирует не только вопросы допустимой эмиссии дымовых газов во время сжигания, но и требования по параметрам процесса сжигания. Положения Директивы относятся к сжиганию бытовых, промышленных и опасных отходов, осадков сточных вод, совместному сжиганию отходов с другим топливом.

Условия эксплуатации установок по сжиганию в соответствии с Директивой 2000/76/ЕС.

Процесс сжигания необходимо вести при температуре не ниже 850 °С, время пребывания газов должно составлять не менее 2 с. Директива 2000/76 однозначно определяет, что это требование необходимо выполнять после последнего ввода вторичного воздуха в камеру сжигания. Для отходов, содержащих более 1 % хлорорганических соединений, минимальная температура должна составлять 1100 °С; содержание органических веществ в шлаке, в пересчете на общий органический углерод, не может превышать 5 %. Допустимые концентрации эмиссии загрязнений в атмосферу указаны в табл. 24-26.

При совместном сжигании отходов с твердым природным топливом допустимая концентрация загрязнений в дымовых газах рассчитывается следующим образом:

$$C = (V_{отх} C_{отх} + V_{топ} C_{топ}) / (V_{отх} + V_{топ}),$$

где $V_{отх}$, $V_{топ}$ - объемы дымовых газов от сжигания отходов и топлива, $C_{отх}$), $C_{топ}$ - ПДК загрязнений в дымовых газах от сжигания отходов и топлива.

Рекуперацию тепла от сжигания отходов производить обязательно; необходимо применение автоматических систем контроля параметров сжигания.

Таблица 24. Допустимое содержание загрязнений в дымовых газах.

Загрязнение	Допустимое содержание загрязнений в дымовых газах, мг/м
Пыль	10
Двуокись серы	50
Окиси азота	200**
Окись углерода	50***
Хлороводород	10
Фтороводород	1 "1
Сумма органических соединений углерода (ОСУ)	10
Ртуть и ее соединения	0,05****
Кадмий, талий и их соединения	0,05****
Остальные металлы и их соединения как сумма: антимония, мышьяка, свинца, хрома, кобальта, меди, марганца, никеля, ванадия	0,5****
Полихлориды дибензо пара диоксин и дибензо фурфуолов	0,1 нг/ м3 **
Для условий: температура 273 К, давление 101,3 кПа, сухие газы с содержанием 11 % O₂. Для старых установок производительностью свыше 6 т/ч и новых установок производительностью менее - 400 мг/ м³. Эмиссия окиси углерода имеет дополнительные ограничения: 95 % замеров с интервалом в 10 мин не может превышать 150 мг/ м³, а средняя получасовая эмиссия не должна превышать 100 мг/ м³. Продолжительность замеров от 30 мин до 8 ч. Продолжительность замеров 6-8 ч. .	

Допустимая эмиссия загрязнений при сжигании отходов приведена в табл.24, требования концентрации загрязнений от выхлопных газов процесса совместного сжигания твердого топлива и осадков - в табл.25. Допустимая эмиссия рассчитывается по вышеприведенной формуле.

В табл.26 указаны требования по эмиссии в соответствии с Директивой 2000/76/ЕС при совместном сжигании осадков сточных вод (или любых других отходов) в печах для производства цемента. Допустимые концентрации загрязнений в стоках от установок по сжиганию отходов (мокрая очистка дымовых газов) приведены в табл.27.

Таблица 25.

Загрязнение	Допустимая концентрация Сто., загрязнения в дымовых газах, мг/м ³ , при мощности котла, МВт*			
	0-50	50-100	100-300	более 300
Пыль	50	50	30	30
Двуокись серы	-	850	850-200	200
Требуемая степень	-	90	92	95
Окиси азота	-	400	300	200
Ртуть	0,05			
Кадмий и талий	0,05			
Остальные металлы как сумма: антимония, мышьяка, свинца, хрома, кобальта, меди,	0,5			
Полихлориды дибензо пара диоксин и дибензо фуранфуолов (сумма 17	0,1 нг/м ³			
* Для условий: температура 273 К, давление 101,3 кПа, сухие выхлопные				

Таблица 26.

Загрязнение	Допустимое содержание загрязнений в дымовых газах, мг/м ³ *
Пыль	30
Двуокись серы	50
Окиси азота	800/50**
Окись углерода	Уровень определяется местными властями
Хлороводород	10
Фтороводород	1
Сумма органических соединений	10
Ртуть	0,05
Кадмий и талий	0,05
Остальные металлы как сумма: антимония, мышьяка, свинца, хрома, кобальта, меди, марганца, никеля и ванадия	0,5
Полихлориды дибензо парадиксин и дибензо фурфурешов (сумма 17 соединений)	0,1 нг/м ³
* Для условий: температура 273 К, давление 101,3 кПа, сухие газы 10 % 02.	
** Для старых установок 800 мг/м ³ , для новых установок 500 мг/м ³ .	

Таблица 27.

Загрязнение	ПДК в стоках,
Общее содержание взвеси*	45
Общая ртуть	0,03
Общий кадмий	
Общий талий	
Общий мышьяк	0,15
Общий свинец	0,2
Общий хром	0,5
Общая медь	
Общий никель	
Общий ванадий	1,5
Полихлориды дибензо пара диоксин и ди бензо фурфуранов (сумма 17 соединений)	0,3 нг/дм ³
* Метод определения взвеси указан в Директиве 91/271/ЕЕС.	

Европейский Союз намерен в время внести изменения в Директиву 86/278/ЕЕС по охране окружающей среды, и особенно почвы, при использовании осадков сточных вод в сельском хозяйстве. Эти изменения были предложены в Рабочем документе по осадкам, принятом в апреле 2000 г. в Брюсселе. Документ вводит ряд ограничений по применению методов переработки осадков сточных вод и содержанию в них тяжелых металлов. Эти ограничения практически исключают сельскохозяйственное использование осадков. Единственно возможным способом переработки осадков сточных вод останется термическая утилизация.

6.3 Утилизация гальванических осадков железнодорожных предприятий.

Решением Европейской экономической комиссии ООН в группу наиболее опасных и, следовательно, приоритетных для целей наблюдения, контроля и регулирования тяжелых металлов включены: ртуть, свинец, кадмий, хром, марганец, никель, кобальт, ванадий, медь, железо, цинк, сурьма, а также типичные металлоиды мышьяк и селен.

Большинство из перечисленных металлов относятся к d-элементам. Наличие вакансий в электронных оболочках d-элементов обуславливает легкость их включения в комплексные соединения, в том числе с биолгандами. Благодаря этому такие металлы, как Cu, Co, Ni, V, Cr, Mn, Fe, наряду с Zn и Mo входят в состав простетических групп ферментов и некоторых белков. В составе комплексов с

биомолекулами они участвуют во многих жизненно важных процессах и реакциях организма. Вместе с тем индивидуальная потребность организмов в тяжелых металлах незначительна, а поступления из внешней среды избыточных количеств этих элементов приводит к токсическим эффектам.

Наиболее характерным и демонстративным примером является ситуация с некоторыми соединениями ртути, впервые проявившаяся в Японии еще в 1960-х гг., а позднее - в Европе и Северной Америке. Речь идет о таком соединении ртути как метилртуть (CH_3Hg^+), считающимся опасным биоцидом. Каким бы путем, и в какой бы форме ртуть ни попадала в воду, происходит ее метилирование микроорганизмами с образованием метилртути, которая является сильным экотоксикантом [78,79]

Основными антропогенными источниками атомов тяжелых металлов служат предприятия тепло- и электроэнергетики, черной и цветной металлургии, горнодобывающие предприятия, цементные заводы, химические комбинаты, транспорт. Особенно насыщены тяжелыми металлами осадки гальванических производств, которые являются неотъемлемой составляющей большинства предприятий железнодорожного транспорта. Поэтому для железнодорожного транспорта, как и для других отраслей народного хозяйства, является актуальным экологическое обезвреживание гальванических стоков.

Экологическая опасность тяжелых металлов зависит от форм нахождения их соединений в той или иной среде. Наиболее опасны с этой точки зрения легкоподвижные формы - ионы и водорастворимые комплексы. В связи с этим, на взгляд авторов, представляется плодотворным анализ методов захоронения гальванических осадков, при которых происходит связывание тяжелых металлов в прочные водонерастворимые и водонеразлагающиеся образования с целью снижения подвижности тяжелых металлов.

Утилизация гальванических осадков путем их связывания в цементные материалы может быть одним из вариантов ликвидации данных видов отходов, причем, экологически более безопасным, чем вывоз на неспециализированные полигоны или в несанкционированные места складирования. Но и в этом случае нет полной уверенности в безопасности таких технологий, так как со временем возможен выход тяжелых металлов в окружающую среду в связи с коррозией бетона.

Перспективным в этом направлении можно считать введение гальванических осадков в обжиговые технологии. При обжиге образуется достаточное количество расплава и гальванические осадки переходят в мало- или нерастворимые формы с полной консервацией (капсулированием) тяжелых металлов. При этом обеспечивается надежное захоронение тяжелых металлов, а также значительное повышение прочности керамического материала за счет выполнения

примесями тяжелых металлов роли гетерогенных катализаторов, способствующих кристаллизации расплава.

Научные исследования [78] опыт работы некоторых предприятий по производству керамических материалов свидетельствуют о том, что введение гальванических осадков (ГО) в шихту позволяет существенно улучшить технологические свойства глинистых масс и качество готовой продукции. Но отсутствие теоретического обоснования и технологического регламента по введению гальванических осадков сдерживает масштабное использование данных побочных продуктов. Кроме этого, нет достаточного анализа санитарно-химической безопасности технологии производства и готовых изделий с добавками гальванических осадков, что немаловажно для промышленного внедрения.

Известно, что одним из способов направленной кристаллизации стеклофазы является введение в состав стекломассы катализаторов кристаллизации с целью получения кристаллического материала с более высокой прочностью, твердостью и термостойкостью, чем исходное стекло, за счет образования кристаллических фаз. Исходя из химического состава нейтрализованного гальванического осадка, содержащего коллоидные гидроксиды тяжелых металлов, можно утверждать о возможности использования этого отхода для таких целей.

Авторами [78] проведены исследования по добавке небольших количеств (0,5...5 %) ГО в жаростойкие бетоны. При вводе даже небольшого количества (1 %) ГО прочность на удар жаростойких бетонных блоков с температурой применения до 1000 °С возросла в 2,5-3 раза с увеличением термостойкости в 1,5-2 раза. Опытная партия таких блоков прошла успешные испытания на ЗАО НПО «Керамика». На основе этих экспериментов разработаны технические условия на добавку в жаростойкий бетон, состав которой запатентован.

Небольшой процент гальванических осадков, введенных в кирпич, также благоприятно сказался на его эксплуатационных характеристиках. Ввод 1 % ГО привел к увеличению прочности на изгиб и уменьшению водопотребления.

Авторами [78] были также проведены исследования и анализ санитарнохимический безопасности технологии производства и готовых изделий с добавкой ГО, а также выщелачивание из кирпича вредных веществ (ВВ) по методике Американского экологического общества. Вынос ВВ в окружающую среду оценивали выщелачиванием дождевой водой с дополнительным вариантом «кислого дождя» (pH = 5).

Проведенные анализы показали, что добавка ГО не приносит дополнительных вредных ингредиентов, ухудшающих качество воды. Установлено, что результаты выщелачивания железа и никеля модельной потовой жидкостью из

экспериментальных образцов не отличаются от результатов, полученных для контрольных образцов.

Наряду с нейтрализованными ГО были проведены исследования возможности применения в строительном материаловедении кислых гальванических стоков, которые характеризуются особой токсичностью. Кислые стоки из ванн травления стали и снятия хромового покрытия являются отходом от производства гальванических работ и представляют собой водный раствор HCl с ионами Cr^{+3} , Fe^{+3} , Cu^{+2} с $\text{pH} = 0,1 \dots 0,2$, содержащий ионы Cr^{+3} в концентрации ~ 250 г/л, ионы $\text{Fe}^{+3} \sim 10$ г/л, ионы $\text{Cu}^{+2} \sim 5$ г/л. Целесообразным является дополнительный ввод кислых стоков из ванн травления стали и снятия хромового покрытия в глазурный шликер, вместо дорогостоящего пигмента. Использование этих вторичных материальных ресурсов (ВМР) позволяет окрасить глазурь в коричневый и зеленый цвета.

На ООО «Петербургская керамика» была выпущена опытная партия керамических изделий. При получении глазурного шликера на основе ГО зеленой и коричневой гаммы использование соответствующего очень дорого пигмента снизилось на 50 %. На основе этих экспериментов разработаны технические условия получения глазурного шликера.

Таким образом, утилизация гальванических отходов таким, хотя и простым, но дорогим способом, как захоронение на полигонах, может быть заменена рациональным их использованием. Экономическая эффективность использования гальванических отходов при производстве керамических изделий очевидна, поскольку снижается себестоимость продукции.

Из всего сказанного выше следует, что экологически опасный гальванический отход при умелом использовании может стать востребованным ВМР, а методы его утилизации - источниками экономии сырья и даже получения прибыли, обеспечивая, к тому же, уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду.

Экономически оптимальной и экологически безопасной является переработка осадков сточных вод в строительные материалы. Предложена [80] оригинальная технология получения строительных материалов, включающая производство щебня путем термического нагрева осадков сточных вод и отходов пластика до температуры его плавления. Определены массовое соотношение утилизируемых компонентов и качественные характеристики полученных строительных блоков и бетонов. Данные строительные материалы не уступают по плотности, прочности и морозостойкости аналогам, изготавливаемым из традиционного сырья, при ЭТОМ их производство является экономически выгодным и экологически безопасным. Стеновые блоки рекомендуется использовать при

строительстве промышленных установок и сооружений, бетоны - для бетонных конструкций.

Предлагаемый способ регенерации извести из осадков до очищенных сточных вод обеспечивает получение извести, пригодной для повторного использования, способствует созданию безотходной технологии доочистки сточных вод, не допускает антропогенного воздействия осадков на окружающую среду [81].

6.4 Реагентная технология обезвреживания осадков сточных вод

Разработана [82] новая промышленная технология реагентной детоксикации, обеззараживания и дегельминтизации ОСВ с получением утилизируемого продукта — гумусоподобной органоминеральной композиции, которая основана на обработке осадка аминокислотными детоксицирующими, антибактериальными и дегельминтизирующими реагентами непосредственно в технологическом цикле очистки на очистных сооружениях или на иловых картах без значительных дополнительных капитальных вложений.

Реагентная детоксикация тяжелых металлов. Токсичность осадка обусловлена главным образом ионами и соединениями тяжелых металлов, таких, как бор, кадмий, кобальт, медь, свинец, никель, ртуть и цинк. Основную опасность представляют ионы и соединения кадмия и свинца, для которых средняя летальная доза LD(50), при попадании в желудок составляет $LD(50) = 5 \cdot 10^{-4} / 6,5 \cdot 10^{-4}$ моль/кг, для хрома и никеля $LD(50) = 1 \cdot 10^{-3} / 1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг, а кобальта, меди и цинка $LD(50) = 2,7 \cdot 10^{-3} / 3,5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг. В осадке все ионы и соединения указанных металлов абсорбированы коллоидными частицами и не могут самопроизвольно перейти в водную фазу. Однако это не уменьшает их токсичности. ОСВ, образующиеся на очистных сооружениях, являются отходами 2-3-го класса опасности.

Таблица 27. Средние летальные дозы аминокислотных комплексов металлов при энтеральном введении подопытным

Комплекс	LD(50), г/кг (в пересчете на металл)
CrL3	Более 23 - 24
ZnL2	Более 22 - 23
PbL2	Более 22
CuL2	16-17
CoL2	14
NiL2	12,5
CdL2	2,5

Наиболее перспективным способом обезвреживания (детоксикации) тяжелых металлов в ОСВ является биологическое маскирование металлов в осадке в виде нерастворимых или малорастворимых в воде аминокислотных комплексов, не оказывающих токсического действия на человека, животных и на естественную микрофлору.

Малорастворимые комплексы – CrL2, NiL2, CuL2, ZnL2, CdL2, MnL2, PbL2 (L — анион аминокислоты) - химически стабильны и устойчивы в широком диапазоне pH. При обработке сточных вод очистных сооружений аминокислотными реагентами параллельно с образованием нерастворимых соединений непосредственно в коллоидных частицах происходит осаждение соединений металлов из иловой жидкости. При хранении детоксицированного осадка уменьшается вероятность переноса соединений металлов в объекты окружающей среды. Так, суммарное количество частиц в жидкой фазе, находящихся в равновесии с осадком при контакте с влагой почвы, соответствует величине растворимости (S, моль/л) аминокислотных комплексов металлов: $4,2 \cdot 10^{-5}$ CoL2, $3,2 \cdot 10^{-4}$ NiL2, $2,7 \cdot 10^{-5}$ CdL2, $1,2 \cdot 10^{-5}$ CuL2, $4,1 \cdot 10^{-5}$ ZnL2, $2,5 \cdot 10^{-7}$ PbL2, $3 \cdot 10^{-6}$ CrL3.

Величины равновесных концентраций ионов хрома, кобальта, никеля, меди, цинка и свинца ниже уровня ПДК в воде водоемов культурно-хозяйственного назначения и соизмеримы с показателями для питьевой воды. Равновесная концентрация ионов кадмия в 2 - 2,5 раза превышает уровень ПДК в воде водоемов культурно-хозяйственного назначения и соизмерима с величиной ПДК для ионов кадмия в почвах.

Параметры нерастворимых комплексов CoL2, CrL3, NiL2, CuL2, ZnL2, SiL2 и PbL2, характеризующие их токсическое воздействие по отношению к человеку и

животным - средние летальные дозы LD(50) при энтеральном введении комплексов подопытным животным, приведены в табл. 27, а эффективные летальные дозы для представителей гидрофлоры, типичных для воды водоемов - в табл. 28.

Таблица 28. Эффективные летальные дозы аминокислотных комплексов и солей металлов для микроорганизмов гидрофлоры

Комплек с	LD(50), комплекс/тело	Соли металла	LD(50), комплекс/тело
CoL	$(2,3 \pm 0,8) \cdot 10^9$	CoCl ₂	$(1 \pm 0,4) \cdot 10^6$
CrL3	$(1,0 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	CrCl ₃	$(1 \pm 0,2) \cdot 10^7$
NiL2	$(1,4 \pm 0,4) \cdot 10^9$	NiCl ₂	$(4 \pm 1,2) \cdot 10^7$
CuL2	$(3,0 \pm 1,1) \cdot 10^9$	CuCl ₂	$(2,2 \pm 0,9) \cdot 10^6$
ZnL2	$(2 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$	ZnCl ₂	$(4,1 \pm 1,2) \cdot 10^6$
PbL2	$(2,5 \pm 1) \cdot 10^{10}$	PbCl ₂	$(1,5 \pm 0,4) \cdot 10^3$

Средние летальные дозы комплексов при энтеральном введении и эффективные летальные дозы для микроорганизмов гидрофлоры таковы, что осадок после связывания металлов в комплексы практически не может проявить токсическое действие по отношению к человеку и животным и повлиять на биоценоз водоемов и почвы.

В качестве реагента для деток - сицирования (обезвреживания) используется композиция натриевых солей аминокислот (жидких гидратов натриевых солей аланина, валина, глицина, лейцина, изолейцина, пролина, фенилаланина, оксипролина, сирина, тирозина, треонина, аргинина, гистидина, лизина, оксализина, цистина, цистеина, аспарагиновой кислоты и глютаминовой кислоты; средняя молекулярная масса - 125 - 130) - композиция аминокислотная АКК-ДЕТ (аналоги "Мирея", АК-3Э).

Доза композиции АКК-ДЕТ (с содержанием анионов аминокислот, необходимых для превращений соединений металлов в устойчивые нетоксичные, биологически стабильные и малорастворимые аминокислотные комплексы, 1 моль/дм³) на 1 кг осадка в виде сухого вещества Р, моль/кг, рассчитывается по формуле

$$P = 2mMn/54,9 + 2mCu/63,5 + 3mCr/51,9 + 2mNi/56,7 + 2mCo/56,9 + 2mZn/65,4 + 2mPb/207,2 + 2mCd/112,4$$
, где m — содержание металла, г/кг (формы, титруемые щелочью).

Композиция АКК-ДЕТ представляет собой коричневую, темно-коричневую жидкость со специфическим запахом, плотностью 1050 - 1080 г/дм³, температура замерзания -10 - 12. °С, температура кипения 100 - 105°С, проявляет щелочную реакцию, смешивается с водой, со спиртами, ацетоном, взаимодействует с кислотами, готовится по ТУ 9291-001-94106549-06, и отвечает требованиям, приведенным ниже.

Содержание аминокислот, моль /дм ³ ,	
Не менее.....	1,0
Средняя молекулярная масса, г.....	130-350
Содержание свободной щелочи,	
Моль/дм ³ , не более.....	0,6
pH.....	10,5-13,0
Нерастворимые вещества, %,	
Не более.....	1,5

При энтеральном введении композиция относится к 4-му классу опасности (малоопасные вещества по ГОСТ 12.007-76), LD(50)> 20 г/кг, не оказывает общего токсического действия на организм, местного раздражения кожи и слизистых оболочек. При длительном контакте возможна сухость кожи рук. При разбавлении в 50 раз биологически разлагается, в условиях применения не оказывает влияния на жизнедеятельность основных видов микрофлоры водоемов. Она не горюча, не взаимодействует со стеклом, бетоном, кафелем, керамикой, резиной и пластиком, а также не вызывает коррозию черных металлов, титана, меди, сплавов меди, однако взаимодействует с алюминием при длительном контакте. Токсикологический паспорт выдан лабораторией промышленной токсикологии ОАО НИИ "Ярсинтез".

Реагентное обеззараживание и дегельминтизация. Антибактериальную обработку ОСВ можно проводить на любой стадии переработки осадка. Для обработки используется реагент, представляющий собой композицию гидратов аммиачно-аминокислотных и гидроксоаминокислотных комплексных соединений Cu^{2+} , содержащую натриевые соли низших пептидов и гидроксид натрия.

Основу процесса реагентного обеззараживания и дегельминтизации составляет взаимодействие гидроксоаминокислотных комплексов меди (основа бактерицидной композиции - АКК- БАК) с аминокарбоксильными группировками белков оболочек патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Данные группировки ответственны за транспортировку веществ внутрь клетки и из нее, а также для простейших микроорганизмов связывание группировки комплексами приводит к нарушению обмена с внешней средой и гибели. Комплексные соединения меди связываются с белками оболочек патогенных микроорганизмов, в том числе в цистированном состоянии, яиц гельминтов, вызывая их гибель. Так же связываются

белки вирусов, токсические белки (токсины гниения) и протеолитические ферменты типа бактериальных коллагеназ, приводя к подавлению вирусов, необратимому ингибированию токсинов и остановке автолиза и гниения. Аналогично происходит детоксикация и стабилизация белковых компонентов. Продуктами взаимодействия гидроксоаминокислотных комплексов меди (как и других металлов) с белками оболочки микробов, яиц гельминтов, вирусов, токсинов, ферментов и белковых компонентов являются соединения аминокислотных комплексов с группировками белков. Такие соединения нетоксичны и химически стабильны.

Летальная доза зависит от размера микроорганизма и устанавливается экспериментально. Чем меньше микроорганизм, тем меньше для него летальная доза. Полное (100 %) подавление вирусов и патогенной микрофлоры достигается при введении в осадок комплексов меди в количестве 7 - 9 моль/кг (в пересчете на сухое вещество). Гибель яиц гельминтов (100 %) наступает при введении в осадок комплексов меди в количестве 9 - 12 моль/кг (в пересчете на сухое вещество). При этом погибают также личинки подкожного клеща. Гибель микроорганизмов и яиц гельминтов происходит в течение 40 - 60 мин после контакта комплексов с оболочкой. Процесс взаимодействия ускоряется под действием солей пептидов, проникающих в жировой слой оболочки и разрыхляющих его. Жизнедеятельность погибших микроорганизмов и яиц гельминтов не возобновляется.

В качестве реагента для антибактериальной обработки ОСВ используют композицию гидратов аммиачно-аминокислотных и гидроксо-аминокислотных комплексных соединений Cu^{2+} и щелочи. Композиция представляет собой темно-синюю или черную суспензию (допускается запах аммиака) плотностью 1100 - 1150 г/дм³, температура замерзания - 100 - 120 °С, температура кипения 1100 - 1150 °С. Общая формула CuLOH , где L - анион аминокислоты. Молекулярная масса - 175 - 180. Композиция проявляет щелочную реакцию, смешивается с водой, разлагается при pH < 7. Композиция АКК-БАК (аналоги "Геба", ММЭТ) готовится по ТУ 9291-002-94106549-06 и отвечает требованиям, приведенным ниже.

Содержание комплексных соединений

меди, моль/дм³.....0,95 - 1,05

pH.....10-12

Гидроксильный коэффициент.....0,9 - 1,1

Технологические схемы обезвреживания ОСВ. ОСВ очистных сооружений подвергают обеззараживанию и обезвреживанию (детоксикации) либо в жидком виде на стадии формирования и уплотнения, либо после механического обезвоживания, либо после подсушки на иловых площадках.

Для очистных сооружений с механическим обезвреживанием применяются три метода обезвреживания ОСВ: введение реагентов (композиции АКК-ДЕТ) в илоуплотнитель, введение реагентов в уплотненный осадок до введения флокулянта, вместе с флокулянтом или после введения флокулянта и поэтапное орошение отжатого осадка реагентами на лентах транспортеров. Контроль полноты обеззараживающей обработки с помощью композиции АКК-БАК проводят путем определения pH и микробиологического анализа проб из второй камеры приемного лотка и проведения микробиологического анализа уплотненного осадка перед его подачей в камеру смешения. Завершение процесса детоксикации контролируют, определяя pH уплотненного осадка после применения реагентов.

Выбор схемы обработки на иловых картах различной влажности определяется характером осадка, влажностью, механической прочностью поверхностного слоя, конструктивными параметрами иловых карт (длина, ширина, глубина) и может осуществляться следующими методами:

- * обработка осадка непосредственно на иловой карте путем введения реагента в массу осадка с помощью распределительной системы;
- * обработка осадка непосредственно на иловой карте путем орошения реагентом поверхности осадка;
- * обработка изымаемого с площадки осадка на мобильной установке с последующей транспортировкой на полигон депонирования;
- * обработка изъятых с площадки осадка на стационарной установке, расположенной на полигоне депонирования.

Контроль обеззараживающей и обезвреживающей обработки проводится путем определения pH и проведения микробиологического анализа проб осадка, взятых с различных участков и разной глубины иловой карты в соответствии с утвержденной схемой отбора проб.

При антибактериальной обработке ОСВ на стадии формирования и укрупнения осадка в илосборнике активные процессы брожения и гниения с выделением газообразных продуктов прекращаются в течение 5-15 мин. Полностью эти процессы останавливают после подавления патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. Затем начинается активное укрупнение коллоидных частиц до визуально идентифицируемых хлопьев. Процесс завершается через 30 - 40 мин. За это время хлопья успевают осесть. Иловая жидкость становится практически прозрачной. Осевшие хлопья дополнительно укрупняются и уплотняются. Влажность уплотненного обеззараженного осадка около 92 %.

По технологической схеме проведения совместного обезвреживания осадков с механическим обезвреживанием обеззараживающий реагент (композиция АКК-БАК) вводится в иловый трубопровод перед фильтр-прессом. Процессы

антибактериальной обработки и дегельминтизации протекают по мере продвижения осадка по трубопроводу к фильтрпрессу. Детоксичивание осадка проводят после механического обезжизивания на выходе из фильтр-пресса посредством дозирования реагента в массу осадка, находящегося на ленте транспортера или в шнековом устройстве.

Реагентная обработка осадков, депонированных на иловых картах, проводится независимо от работы очистных сооружений при положительной температуре воздуха путем подачи последовательно обеззараживающего и обезвреживающего реагента в массу осадка на иловых картах.

Обезвреживание осадков, подсушенных на иловых картах до влажности 40 - 70 %, осуществляется введением реагента в массу осадка с помощью распределительной системы. Дозы композиций АКК-БАК и АКК-ДЕТ и параметры обработки определяют до начала технологических операций. Время экспозиции осадка после обработки одним из реагентов составляет 10 - 20 дней. Полнота обеззараживания и детоксикации ОСВ должна быть подтверждена лабораторными исследованиями проб осадка, изъятых с иловой карты после истечения времени экспозиции.

Обработка непосредственно на иловой площадке путем орошения реагентом поверхности осадка применяется при отсутствии возможности передвижения по его поверхности из-за высокой влажности (свыше 80 %). Технология предполагает орошение поверхности осадка с помощью распределяющего устройства, перемещаемого по границам иловой площадки. Реагент, попадая на поверхность осадка, начинает проникать в глубь иловой карты за счет процессов фильтрации и диффузии. Экспериментальные данные показывают, что при времени экспозиции после обработки 10 - 15 дней реагент равномерно распределится по всему объему осадка. Скорость диффузии реагентов в объем осадка составляет 1 - 2 м/ч.

Окончание процесса с выполнением требований к обезвреживанию и обеззараживанию контролируется, если устанавливается постоянное значение $pH = 7,2 / 7,5$. Отсутствие бактериальной зараженности осадка контролируется микробиологическим и гельминтологическим исследованием образца обработанного осадка.

Органоминеральная композиция. Получаемый в результате реагентной обработки ОСВ продукт представляет собой нетоксичную органоминеральную композицию, по составу соответствующую органическим удобрениям. Он состоит из минеральных веществ типа глиноземов и органических веществ (углеводов, гликопротеинов, липопротеинов). Продукт содержит природосовместимые аминокислотные комплексы металлов и аминокислоты в виде натриевых солей и гидроксоами-нокислотный комплекс меди в качестве безопасного бактерицидно-

консервирующего агента. Основная часть токсичных катионов металлов находится в виде нерастворимых соединений, прочно связанных с органоминеральными коллоидами. Эти комплексы химически стабильны, в природных условиях их разрушение до токсичных солей в количествах, превышающих предельно допустимые нормы, практически исключено. При хранении композиции в течение двух и более лет в ней не возникает и не развивается патогенная микрофлора. В естественных условиях при контакте с природной почвой в ней возникает жизнедеятельность микроорганизмов почв, развиваются черви, произрастает трава и культурные растения.

Композиция органоминеральная консервированная стабилизированная (ГЕЯ-СИНТЕТИЧЕСКАЯ, ТУ 9291-120-94106549-06), получаемая в результате обезвреживания ОСВ, относится к 4-му классу опасности (малоопасные вещества по ГОСТ 12007-76, LD(50)>20 г/кг). Представляет собой комкообразную массу без специфического запаха. Экологически безопасна, не влияет на жизнедеятельность естественной (непатогенной) микрофлоры при смешении с почвами в естественных условиях. Транспортируется любыми видами транспортных средств в соответствии с действующими правилами перевозок грузов. Она разрешена для применения в городском и приусадебном хозяйстве при озеленении и благоустройстве городских территорий, в качестве средства для засыпки и рекультивации свалок ТБО и промотходов, при рекультивации нарушенных земель (карьеров, отвалов, хвостохранилищ шахт, рудников и т.п.), в качестве добавок в почвы для повышения их производительности, в качестве сырья для производства органоминеральных удобрений и почвоулучшающей добавки для обогащения и рекультивации эродированных почв и техногенно загрязненных земель, в питомниках лесного и городского хозяйства при выращивании посадочного материала, цветов, рассады и т.п., для выращивания фитомассы (древесины и др.) на специально отведенных участках, под сенокосные и пастбищные угодья при их перезалужении, для производства засыпных и изоляционных материалов. По техническим требованиям должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 29.

Разработанная технология имеет следующие преимущества:

простота технологии полного обеззараживания и детоксикации ионов тяжелых металлов в устойчивые нетоксичные соединения;

осуществляется малозатратная промышленная утилизация осадков сточных вод в товарный продукт — экологически безопасные органоминеральные композиции широкого спектра применения в коммунальном хозяйстве;

используются дешевые и доступные бактерицидно-детоксирующие реагенты, получаемые из белоксодержащих отходов птицефабрик, кожевенной, мясной промышленности;

устраняется необходимость сжигать или депонировать на специальных полигонах токсичные осадки сточных вод.

Оценка токсичности подвергнутых обезвреживанию ОСВ. Осадки и органоминеральная композиция являются сложной системой с довольно нестабильным составом, оценка их токсичности проводится несколькими методами на гидробионтах (дафниях), червях (почвенных беспозвоночных), мышах (тепловых) и по наблюдениям за развитием растений в Институте фундаментальных проблем биологии РАН.

При тестировании на гидробионтах (дафниях) в обработанных реагентом водных растворах солей ТМ и водных вытяжек обработанных и необработанных ОСВ установлено, что выживаемость дафний составляет 70 - 100 %, в условиях без обработки дафнии погибают.

Выживаемость и плодовитость червей в субстратах с обработанными осадками выше, чем с необработанными, для их жизнедеятельности в обработанных осадках благоприятные условия, что также свидетельствует о перспективности их вермиком- постирования.

Введение обработанных осадков мышам не приводит к генотоксическому эффекту, показатели равны контролю (на уровне фона), от введения необработанных осадков увеличивается количество нарушений в клетках костного мозга в 2 раза.

При использовании обработанных осадков в качестве удобрения снижается поступление тяжелых металлов в репродуктивные органы (плоды томатов, гороха), в листья салата, редиса, томатов, шпината, но не выявлено различий в накоплении тяжелых металлов зеленой массой гороха и корнеплодами редиса, а также в опыте на песке листьями салата. В опытах с внесением ОСВ в почву все растения содержали нормируемые тяжелые металлы ниже ПДК. В опытах на песке содержание кадмия выше ПДК обнаружено в листьях салата (в 2,7 раза), а цинка в листьях салата и гороха (в 2 и 1,5 раза соответственно), что подтверждает необходимость введения ограничений при внесении ОСВ в легкие по гранулометрическому составу почвы. При концентрациях хрома в ОСВ 1900 - 3000 мг/кг сухой массы в растения поступало не более 3,7 мг/кг сухой массы, плоды гороха и томатов, выросшие на обработанных ОСВ, содержали хрома меньше контрольных плодов.

Применение обработанных реагентами осадков в качестве удобрения положительно влияет на рост и развитие растений, эффект от них одинаковый либо выше, чем необработанных ОСВ. Проявлений токсического воздействия на растения нет (хлороза листьев или замедления роста по сравнению с контролем не отмечается). На обработанных осадках выше урожай плодов гороха на 15 - 37 %, больше биомасса растений. Растения томатов, салата, редиса раньше переходят в фазу цветения.

Таким образом, органоминеральная композиция, полученная обработкой ОСВ реагентами на аминокислотной основе, в соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 может применяться при соблюдении норм, в расчетных дозах и при условиях, указанных в ГОСТе. При сильном загрязнении, но при отсутствии токсичности после обработки реагентами - для восстановления продуктивности нарушенных земель с целью лесохозяйственного и рекреационного направления их рекультивации, а также в качестве сырья подготовки органических удобрений компостированием и вермикомпостированием.

Таблица 29. Показатели органоминеральной композиции

Показатели	Норма	Метод испытания
Влажность, %, не более	85	ГОСТ 26713-86
Кислотность pH	7,0-8,5	То же
Содержание, мг/кг, не более:		
бактерицидно-консервирующего	700- 1000	— " —
в виде гидроксо-		
комплексов меди в пересчете на		
аминокислот**	10	— " —
кадмия***	30	По МИ2295-94
марганца***	2000	ГССОФИ
меди***	1500	То же
никеля***	400	— " —
свинца***	500	— " —
хрома(III)***	1200	— " —
цинка***	4000	— " —
ртути***	15	ПНДФ 16.1.1-96
мышьяка***	20	РД52.18МУ
Кислотная емкость, г-экв/кг	1,5-3,0	— " —
Щелочная емкость, г-экв/кг	2-4	— " —
Индекс БГКП	≤10	МУ 2.1.7.730-99
Индекс энтерококов	≤10	То же
Патогенные бактерии, в т.ч.	0	— " —
Яйца гельминтов	0	МУК 4.2.796-99
*мг/кг; **ммоль/кг, не менее; *** в виде аминокислотных		

Технология защищена патентами РФ и проверена в промышленном масштабе: в МУП "Водоканал", г. Подольск Московской области (реагентная

обработка до 250 тыс. т сточных вод ежедневно и до 235 000 м³ осадка, складированного на иловых картах) в МУП "Водоканал", г. Серпухов Московской области (обработано и обезврежено 2000 т иловых осадков). Обработанные осадки использованы при рекультивации городской свалки, замене почв придорожных газонов и скверов; МУП "Водоканал", г. Ростов Ярославской области (промышленная обработка до 30 000 м³); МУП "Водоканал", г. Троицк Московской области (промышленная обработка 12 000 м³); МУП "Водоканал", г. Климовск Московской области (промышленная обработка 5000 м³); ЗАО "ЭКОАЭРОСТАЛ КЕО", г. Щелково (150 000 м³); МУП "Водоканал", г. Обнинск (40 000 м³).

На основе санитарно- гигиенической оценки 83 осадков коммунальных сточных вод г. Кривого Рога рассматривается возможность и даются рекомендации для их безопасного использования при создании вторичных природных ландшафтов в местах «лунных поверхностей» после открытой добычи железной руды.

Осадок сточных вод, переработанный биотехнологическим методом (компостированием), относится ко второй группе по ГОСТ Р 17.4.3.07- 2001 (сертификат соответствия РОСС RU.ПО 12.C00438 № 0411429). Компостированные осадки этой группы можно использовать в зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, в промышленном цветоводстве, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов твердых бытовых отходов, а также ограничено в сельском хозяйстве. Экономической альтернативой буртовому компостированию могут явиться аэрируемые бурты, сочетающие в себе напорную аэрацию и периодическое перемешивание с последующим созреванием компоста.

Использование в качестве сырья местных вторичных ресурсов, достаточные агрохимические характеристики готового продукта, экономический эффект, основанный на ускоренном приготовлении компоста, экономии торфа и нормах внесения в почву, позволяют отнести данную инновационную разработку к перспективной [84,85]

Глава 7.

Утилизация осадков и шламов различных производств.

Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из них побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем, другие непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значения первых.

Ф. Энгельс.

Ныне крупные научные достижения оказывают своё влияние на жизнь миллионов людей, на природу целых континентов, а порой сулят и непредсказуемые последствия.

Из христианской проповеди.

7.1 Утилизация отходов и шламов после электрохимических процессов обработки вод.

В настоящее время строительное материаловедение, как одна из областей хозяйственной деятельности человека, тесно связано с проблемами экологии. На сегодняшний день актуален поиск таких решений, которые, наряду с улучшением строительно-технических свойств материалов, будут решать экологические задачи.

В процессе эксплуатации транспортных магистралей возникает необходимость в строительных материалах различного назначения. В то же время от транспорта в окружающую среду поступают техногенные продукты органической (нефтепродукты) и неорганической (ионы тяжелых металлов (ИТМ)) природы, которые накапливаются в придорожных грунтах. Ежегодно в России образуется более 510 млн. т. загрязненного нефтепродуктами (НП) грунта, из них 330 млн. от железнодорожных предприятий. Но где присутствуют нефтезагрязнения и ИТМ (например, Zn^{2+} и Cu^{2+}), отрицательно влияющие на гидратационное твердение, как правило, нельзя применять строительные материалы на основе портландцемента. Следовательно, при использовании глиносодержащих грунтов, загрязненных НП,

необходимы специальные вяжущие, в качестве которых могут быть рассмотрены фосфатные.

Исходя из предположения, что для глинофосфатных систем присутствие НП не является препятствием к твердению, предложено использовать загрязненный НП грунт как сырье для производства фосфатных материалов [86].

Полученные результаты явились основанием для создания фосфатных материалов на основе нефтесодержащих техногенных продуктов. Было исследовано влияние содержания НП в грунте и отработанного моторного масла (ОММ) в песке, а также отработанной фосфорной кислоты с ИТМ на прочностные характеристики глинофосфатных материалов.

Полученные глинофосфатные материалы были использованы при укреплении нефтезагрязненных грунтов опытных площадок территорий локомотивных депо. Материал на основе песка, загрязненного ОММ, имеющий прочность при сжатии 12,5 МПа, морозостойкость 35 циклов

(Пат. 2254307 и 2232146 РФ), использовался при устройстве площадки для хранения старогодных шпал в локомотивном депо.

В результате очистки металлических поверхностей от НП различными моющими средствами ежегодно в России образуется более 10 млн. м³ токсичного для окружающей среды раствора.

В связи с этим был рассмотрен способ утилизации отработанного моющего нефтесодержащего раствора и получен материал на основе кембрийской глины (28 % по массе), песка (40) и Ре(П)-компонента (15 % по массе). В качестве жидкости затворения (плотность 1,35 г/с м³) использовали смесь концентрированной ортофосфорной кислоты с отработанным моющим раствором, содержащим 5 % по массе НП. Оказалось, что разбавление концентрированной фосфорной кислоты отработанным моющим раствором приводит к замедлению скорости химической реакции, а, следовательно, и к замедлению схватывания, что практически решает эту проблему в фосфатном материаловедении. В результате исследований получен водостойкий фосфатный материал с высокими техническими характеристиками (прочность при сжатии после водонасыщения - 12 МПа, морозостойкость - 35 циклов), который рекомендован к применению в промышленном строительстве (Пат. 2257359 РФ). Он был использован при укреплении грунтов промышленной территории для стоянки автотранспорта в локомотивном депо.

В процессе работы для создания фосфатных материалов специального назначения на основе глиносодержащих грунтов с повышенной водостойкостью была предпринята попытка использования в качестве добавки сульфата бария как труднорастворимого вещества, содержащего ИТМ. При этом так же, как и для фосфатов тяжелых металлов, предполагался катализ кислотно-основных процессов в

системе с соответствующим ростом прочности и водостойкости получаемого материала. Сульфат бария используется в промышленности для радиационной защиты. Исследования модельных систем показали, что в присутствии сульфата бария возрастает количество ионных фаз, что отражает увеличивающаяся электропроводность фосфатной пасты и прочность получаемого материала.

На основании проведенных расчетов степени ослабления интенсивности ионизирующих излучений по методам В.Б. Дубровского барийсодержащий глинофосфатный материал может быть рекомендован к использованию в качестве радиационно-защитного при строительстве помещений, предназначенных для рентгеновских установок и хранения радиоактивных отходов. Полученные положительные результаты явились основанием для разработки технических условий и технологической схемы производства барийсодержащего глинофосфатного материала.

При применении разработанных технологий получения глинофосфатных материалов предотвращенный экологический ущерб (в соответствии с "Методическими рекомендациями по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте"), составил 3,9 млн. руб. в год (в ценах 2006 г.). Ежегодные платежи предприятия за загрязнение окружающей среды сократились на 9,58 млн. руб.

Установлено, что новые фосфатные материалы, полученные с использованием отработанной фосфорной кислоты, содержащей ИТМ, и нефтезагрязненного грунта, отличаются повышенной водостойкостью, прочностью и морозостойкостью.

Показано, что улучшение механо-физических и экозащитных свойств новых фосфатных материалов на основе глиносодержащих грунтов коррелирует с изменением термодинамических параметров системы, оцененных по изобарноизотермическому потенциалу (ЛС%), и что более отрицательные значения потенциала связаны с образованием труднорастворимых гидрофосфатов, способствующих росту прочности и водостойкости материала. Показано также, что экозащитность материалов обусловлена связыванием ИТМ и образованием кремнегеля, способного блокировать нефтезагрязнения.

Новые фосфатные материалы, содержащие баритовую руду, отличающиеся повышенными радиационно-защитными свойствами, прочностью и водостойкостью рекомендованы к использованию в целях радиационной защиты.

При очистке сточных вод гальванического производства образуется значительное количество шламов, относящихся к промышленным отходам 2-го, 3-го классов опасности, поэтому очень актуальна их экологически безопасная утилизация.

Полноценное извлечение ионов тяжелых металлов из отходов гальванических производств обусловлено не только необходимостью защиты окружающей среды, но и ценностью самих металлов. В связи с этим все более пристальное внимание уделяют технологиям, позволяющим эффективно извлекать ионы металлов из гальванических шламов и сточных вод, снижая их класс опасности (до 4-го и 5-го). Катионы металлов в гальваническом шламе находятся в мало- и слаборастворимых формах в виде гидроксидов, карбонатов, гидрокарбонатов, сульфидов.

Известны способы извлечения металлов из разных отходов переводом их малорастворимых соединений в растворимую форму посредством хлорирующего или сульфатирующего обжига с последующим выщелачиванием полученных соединений металлов растворами серной кислоты. Однако после извлечения металлов перед сбросом отработанных растворов необходимо удалить из них хлориды или сульфаты.

Авторами исследовалось извлечение тяжелых металлов из гальванических шламов путем перевода их в растворимую форму посредством механической активации с последующим флотационным выделением из раствора [87].

Объектами исследования были шлам гальванического цеха, содержащий, мг/кг: Zn — 46625; Ni - 1433; Cu - 12750; Fe - 20100; Ca - 115500; песок, карбонаты магния, натрия

767811, а также сточная вода того же цеха, содержащая, мг/л: Zn — 93,3; Ni — 2,9; Cu

25,5; Fe - 40,2 с pH = 2,5.

Цель исследований - снижение воздействия на окружающую среду и сокращение энергетических затрат при переработке гальванических отходов, повышение эффективности извлечения соединений тяжелых металлов за счет применения мокрой механохимической активации суспензии шламов с кислыми сточными водами того же производства.

Была разработана технологическая схема, включающая механохимическую активацию мокрым измельчением смеси в виде суспензии шлама (т) и сточных вод (ж) того же производства при $\text{pH} \leq 3$ при т:ж = 1:(0,3-4-1), 60 - 90 °C.

Гальванический шлам из отвалов высушивали до остаточной влажности 5 % и загружали в измельчитель ротационного действия. Туда же добавляли сточную воду собственного производства при $\text{pH} = 2,5$, т:ж = 1:0,5, 70 °C. Полученную смесь подвергали мокрому измельчению до частиц размером менее 10 мкм. После измельчения активированную суспензию выщелачивали кислой сточной водой собственного гальванического производства при 70 °C и $\text{pH}=3$. Осадок затем промывали чистой водой.

Раствор после отделения от осадка фильтрованием помещали в электрофлотационную камеру. Флотацию вели в течение 20 мин при плотности тока $J = 50 \text{ мА/см}^2$ и $\text{pH} = 8/10$. Повышали pH раствора едким натром. В качестве пенообразователя и собирателя при флотационном извлечении металлов использовали ПАВ анионного типа: алкилбензолсульфонат натрия (сульфонол) - 5 мг/л и ксантогенат калия - 3 мг на 100 мг ионов металлов в растворе.

Применение электрофлота-ционного извлечения ионов металлов из растворов обусловлено его эффективностью. Изменяя электрические параметры процесса можно обеспечить оптимальную дисперсность пузырьков воздуха, не разрушая пенный слой. Наряду с электродными процессами в электрофлотационном аппарате протекают объемные химические реакции, которые приводят к изменению состава и растворимости флотоконцентрата, растворению или образованию осадка, разрушению комплексообразователей, способствуя повышению качества процесса.

Полученный пенный концентрат высушивали и прокаливали при 600°C с получением металлического порошка.

По результатам исследований можно предположить, что при мокром способе измельчения твердые частицы, находящиеся в напряжённом состоянии, контактируют с жидкой адсорбционно-активной средой, что способствует адсорбционному уменьшению прочности частиц, облегчая деформацию и разрушение их вследствие физико-химического воздействия среды. Следовательно, механическая активация мокрым измельчением ведёт к увеличению удельной поверхности, изменению поверхностной структуры частиц, возникновению физических дефектов в подрешетках и решетках твердых тел, способствующих образованию новых соединений и ускоряющих элементарные взаимодействия поверхностного слоя с жидкой средой и перехода соединений металлов в растворимую форму. Активация в кислой среде при температуре $60 - 90^\circ\text{C}$ способствует сокращению продолжительности переработки и повышению эффективности выщелачивания металлов в раствор.

При выщелачивании кислыми сточными водами собственного производства аналогичного состава ионы металлов переходят в водный раствор, повышая концентрацию содержащихся в сточной воде аналогичных металлов.

Полученные результаты соответствуют одному из главных положений механоактивации: механоактивация возможна без измельчения, но измельчение без активации невозможно.

Предлагаемый способ одновременного обезвреживания сточных вод и шламов гальванического производства позволяет снизить воздействие токсичных веществ на окружающую среду и получить ценную продукцию в виде металлического порошка для промышленных целей.

Активация измельчением может применяться в комплексном использовании минеральных ресурсов для снижения вредного воздействия промышленных продуктов переработки на окружающую среду. В частности, возможны: утилизация отходов производства и ликвидация отвалов; очистка сточных вод с улавливанием на активированной поверхности ценных (и вредных) компонентов; облагораживание торфа, угля и горючих сланцев перед сжиганием с одновременным извлечением металлов, серы и других ценных компонентов; замена обжига концентратов безобжиговым процессом, основанным на механоактивации.

Одним из эффективных методов обезвреживания и утилизации гальванических шламов является их использование при производстве строительных материалов.

В связи с тем, что химический состав шламов различных технологических процессов колеблется в широких пределах, при разработке и гигиенической оценке технологий обезвреживания и утилизации требуется индивидуальный подход.

Ниже представлены результаты производственных испытаний, проведенных на ОАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение" с целью исследования возможности применения шлама после электрохимической обработки (ЭХО) в качестве пластифицирующей добавки в строительные растворы [88].

Шлам, образующийся после ЭХО титановых и коррозионно - стойких сплавов в растворе хлорида натрия, представляет собой обводненную пасту влажностью 60 - 75 %, состоящую из мелкодисперсных частиц. Присутствие в шламе хлорида натрия, который оказывает существенное влияние на изменение технологических и технических свойств цементных композиций, ограничивало количество добавок шлама в строительно-растворные смеси от 3,5 до 7,5 % массы цемента в пересчете на сухое вещество.

Для приготовления строительных растворов применялись следующие материалы:

- портландцемент производства ОАО "Сода" (г. Стерлитамак) по ГОСТ 10178-85;
- речной песок по ГОСТ 8736-93;
- вода техническая по ГОСТ 23732-79;
- шлам после ЭХО титановых и коррозионно-стойких сплавов плотностью 1100 - 1400 кг/м³.

Нормы расходов материалов на 1 м³ раствора и на одну загрузку принимались в соответствии с расходом материалов для строительного раствора марки М100, принятой на растворном узле данного предприятия, и в соответствии с оптимальным составом. Состав раствора заданной марки с добавкой шлама после ЭХО устанавливался в соответствии с требованиями СП 82-101-98.

На основании проведенных токсикологических исследований сделано заключение, что строительный раствор с добавлением шлама после ЭХО сплавов по степени воздействия на организм относится к 4-му классу, т.е. к малоопасным веществам. Его можно использовать в производстве строительных материалов для нежилых зданий и сооружений как соответствующих предъявляемым требованиям.

7.2 Совместная утилизация промышленных отходов

Авторы [89] исследовали возможность совместной утилизации гидролизного лигнина и ила очистных сооружений (целлюлозно-бумажного производства ОАО "Монди Бизнес Пейпа, Сыктывкарский ЛПК") с помощью биотехнологии. Гидролизный лигнин - многотоннажный отход производства кормовых дрожжей.

Прежние исследования показали, что гидролизный лигнин может успешно перерабатываться в течение четырех недель биотехнологическим способом в биологически активный продукт многопланового использования: для рекультивации нарушенных, в том числе нефтезагрязненных земель, в сельском хозяйстве в качестве нетрадиционного органического удобрения (Пат. 2094414 РФ).

Следует отметить, что за несколько десятилетий производства кормовых дрожжей образовалась огромная свалка отходов производства. Промытый атмосферными осадками гидролизный лигнин потерял высокую кислотность, присущую ему в свежем состоянии. Однако использовать его как удобрение без предварительной подготовки нельзя, потому что он представляет собой медленно разлагающуюся сыпучую массу крупной фракции древесных остатков. Вместе с тем, являясь хорошим растительным сырьем для получения органического удобрения, гидролизный лигнин может заменить торф, который также требует предварительного компостирования с минеральными удобрениями для эффективного применения в земледелии.

Проведенное исследование позволяет сделать заключение о возможности совместной биотрансформации гидролизного лигнина и ила очистных сооружений. Процесс подобной трансформации развивается по типу микробиологической сукцессии с выраженной динамикой количества и состава микроорганизмов и изменением химического состава смеси. Дополнительное использование исследованных штаммов микроскопических грибов способствует активизации процесса биотрансформации смеси, ее гомогенизации, приобретению агрономически положительных свойств для применения в земледельческой практике и рекультивации нарушенных территорий. По составу получаемый биокомпост близок почвенному органическому веществу, что позволяет ему включаться в биологический круговорот почвенного органического вещества.

Отличительной особенностью украинских целлюлозно-бумажных комбинатов является применение старого оборудования и устаревших технологических процессов. В связи с этим существенная часть предприятий отрасли характеризуется большой отходностью, скудостью средств очистки и нейтрализации токсичных выбросов и сбросов, применением на производстве опасных химических веществ, наличием цехов, оказывающих вредное воздействие как на персонал, так и на окружающую среду [90].

Основная часть отходов целлюлозно-бумажной промышленности представляет собой, так называемый скоп — волокнистый органический отход производства бумаги, осадок первичных отстойников. Эти отходы многотоннажны, оказывают отрицательное влияние на экологию мест складирования и близлежащие территории [91]. Возврат их в основное производство нецелесообразен из-за уменьшения производительности формирующего оборудования и снижения качества готовой продукции.

Одним из наиболее эффективных способов утилизации скопа, позволяющих не только избавиться от многотоннажных отвалов, но и получить существенную прибыль, является переработка скопа в изделия строительного назначения.

В современных условиях возрастает потребность в обеспечении строительной индустрии высокоэффективными и относительно дешевыми экологически чистыми строительными теплоизоляционными материалами.

Экологическая безопасность и долговечность современных теплоизоляционных материалов на основе полимеров и минераловолоконных на полимерных связующих в настоящее время не находит практического подтверждения. Ряд исследований за последние 2 - 3 года позволяют говорить о высоком содержании вредных веществ в помещениях, где использовались выше названные теплоизоляционные материалы. Минеральные теплоизоляционные материалы на неорганических связках при всех их достоинствах не могут полностью удовлетворить потребности строительства. Во-первых, они значительно дороже, чем полимерные. Во-вторых, в России и в Украине, пока еще не внедрены технологии получения высокоэффективных минеральных утеплителей. В-третьих, имеющиеся сегодня в распоряжении строителей минеральные утеплители не обладают достаточной жесткостью, что не позволяет создавать теплоизоляционные конструкции без риска образования в ходе их эксплуатации мостиков холода*. Актуальность проблемы получения экологически чистых теплоизоляционных и других материалов продолжает оставаться весьма высокой.

Из литературных источников известно, что скоп можно применять при производстве ряда строительных материалов в качестве наполнителя, химический и вещественный состав которого определяют качественные показатели изделий.

В исследованиях авторов [90] применялся скоп ООО "Пермский картон", главной отличительной особенностью которого является отсутствие каолина, способствовавшего повышению термостойкости волокон скопа, а также препятствовавшего коагуляции и переплетению волокон.

Ежегодно на ООО "Пермский картон" образуется не менее 4,2 тыс. т (2,5 тыс. т в год по абсолютно сухому состоянию) скопа. В настоящее время количество утилизируемого на предприятии скопа составляет лишь незначительную часть, остальное вывозится в отвал.

Исследование технологических свойств скопа ООО "Пермский картон" показывает возможность расширения диапазона его применения. Скоп можно использовать как в качестве самостоятельного органического вяжущего вещества воздушного твердения при производстве жёстких теплоизоляционных плит, в том числе с заполнителями, так и в качестве мелковолокнистого заполнителя для получения конструкционно-теплоизоляционных плит, включающих минеральное вяжущее вещество.

Вяжущие свойства скопа, по мнению авторов, объясняются наличием лигнина - природного органического клея, который также является поверхностноактивным веществом.

Исследования показывают, что скопу как самостоятельному вяжущему веществу присущи как достоинства, так и недостатки традиционных вяжущих веществ. К основным достоинствам скопа как вяжущего можно отнести его технологичность и низкую стоимость, к недостаткам - усадку и расслаиваемость.

Изучение влияния скопа как волокнистого наполнителя в составах с цементом на процесс его гидратации показывает возможность применения такого наполнителя без влияния последнего на состав продуктов гидратации цемента. Использование скопа способствует повышению трещиностойкости изделий, улучшению "гвоздимости", снижению плотности и водостойкости.

Исследование экологических особенностей цементных композитов, содержащих скоп, показывает возможность сорбции волокном скопа газообразных продуктов деструкции полимеров.

Комплексное изучение свойств скопа ООО "Пермский картон" доказывает возможность его использования для получения строительных материалов с высокими физико-механическими показателями, материалы на основе скопа являются экологически безопасными и, что немаловажно, имеют низкую себестоимость.

На основе полученных результатов комплексного исследования технологических свойств скопа авторами разработаны технологии производства жёстких теплоизоляционных плит из скопа с заполнителем и конструкционно-

теплоизоляционных плит на основе цемента со скопом (плиты несъёмной опалубки) (Пат. 2323185 РФ).

Внедрение разработанных технологий позволит полностью переработать образующийся скоп в теплоизоляционные и конструкционно-теплоизоляционные плиты и существенно улучшить экологическую обстановку на предприятии и близлежащих территориях.

Экономический анализ разработанных технологий показывает, что общие капиталовложения в предлагаемые авторами технологии составляют порядка 60 млн. руб. в ценах 2005 г., срок окупаемости не превышает 3 лет при рентабельности не менее 45 %.

7.3 Современные методы утилизации нефтесодержащих осадков.

Нефтесодержащие осадки представляют значительную опасность для природной среды в городах и пригородах, являясь потенциальным источником загрязнения почв, грунтов, грунтовых и поверхностных ВОД.

Нефтесодержащие осадки и отходы образуют и накапливают предприятия, имеющие в своем составе мазутные котельные, склады и хранилища ГСМ, автохозяйства, железнодорожные депо, ремонтные мастерские и т. п. Большие количества сильнозагрязненных нефтепродуктами почв и грунтов образуется при технологических проливах, технических авариях и разливах на нефтепроводах.

Серьезной экологической проблемой является загрязнение среды, связанное с расширением парка автотранспорта, увеличение сети АЗС, моек автомобилей, станций технического обслуживания, гаражей, которые в свою очередь также накапливают нефтесодержащие отходы. На многих предприятиях существует проблема утилизации промасленной ветоши.

На Украине в настоящее время нет организованной системы сбора, переработки и утилизации нефтезагрязненных отходов, которая бы полностью отвечала современным требованиям в части охраны окружающей среды. Эта проблема требует незамедлительного решения, так как накопление нефтесодержащих отходов наносит немалый ущерб экологическому состоянию среды и санитарному благополучию населения [96,97,98,99,100].

Существующие способы переработки нефтяных загрязнений, образующихся как в результате аварийных разливов, или сверхлимитного накопления отходов, можно разделить на механические, физические, химические, биологические и фитомелиоративные [92].

Механические способы предусматривают локализацию загрязнения, обваловку или зонирование загрязненной территории, сбор разлившегося нефтепродукта, выемку и перемещение грунта, его захоронение. Очевидно, что они не решают проблемы полной ликвидации нефтяного загрязнения, а в лучшем случае

переносят его из одного места в другое, более безопасное - специальные емкости, резервуары.

Попытки захоронения нефтезагрязненных отходов и грунтов не решают проблему, в первую очередь из-за отсутствия, как правило, на местах специально оборудованных для этих целей полигонов.

Однако, механические способы необходимы в качестве предварительных или вспомогательных, предшествующих дальнейшим мероприятиям по очистке загрязненных территорий, акваторий, хозяйственных и природных объектов. Очистка с помощью механических способов связана с привлечением специальной техники, что приводит к значительным расходам на производимые работы. Выемка, перемещение и захоронение 1 тонны загрязненного грунта или отходов обходится по данным специалистов приблизительно в 350 долларов.

Наиболее распространенным и простым из физических способов является выжигание. При выжигании происходит опасное загрязнение окружающей среды вредными токсическими соединениями. Образующиеся газообразные выделения содержат высокие концентрации канцерогенных соединений, что наносит непоправимый ущерб здоровью людей. Необходимые дополнительные затраты для уменьшения влияния вредных веществ при сжигании на специальном оборудовании сопряжены с соответствующим повышением стоимости работ. Сжигание 1 тонны загрязненного грунта или осадка с соблюдением даже минимальных экологических и санитарных требований (без стоимости специального оборудования) обходится приблизительно в 250 долларов.

Химические способы основаны на использовании реагентов, вызывающих окислительный распад нефтяных углеводородов. Химические вещества и образующиеся продукты разложения (канцерогенные и мутагенные вещества - бензопирены, фенолы, полициклические углеводороды и другие опасные соединения), как правило, представляют даже большую опасность, чем первичное нефтяное загрязнение. Химические вещества могут вызывать неуправляемые мутации и необратимые изменения в структурах биоценозов, что может иметь непоправимые последствия для живых организмов. Для использования в экологических целях химические способы в принципе не приемлемы.

Фитомелиоративные способы применяются при низком уровне загрязнения почв в качестве завершающего этапа очистки. Они основаны на высеве соответствующих сортов трав, при развитии которых за счет активизации микрофлоры происходит минерализация нефтяных углеводородов. Этот способ носит вспомогательный характер и применяется при завершении работ по рекультивации нефтезагрязненных почв.

Биологические способы базируются на современных научных разработках в области воспроизводства и ускорения природных процессов самоочищения и самовосстановления почв и водоемов. Используемые биопрепараты созданы на основе микроорганизмов, для которых нефтепродукты являются источником питания, поэтому они естественным путем адаптированы к их употреблению. Это позволяет экологически чисто, без вторичного загрязнения восстановить биологическую среду объекта. Биологические способы гарантируют 100%-ную очистку. Увеличивающаяся при утилизации биомасса микроорганизмов - основа биопрепаратов - отмирает и превращается в гумус при исчезновении источника загрязнения.

Оптимальным является использование технологий, в основе которых лежит метод биоремедиации - управляемого биокомпостирования нефтесодержащих осадков.

Научные исследования и опыт практических работ позволяют сегодня для любой территории, района, города, создать системы сбора, переработки и утилизации промышленных нефтесодержащих отходов, которые приведут к снижению техногенного воздействия на окружающую среду в результате реализации комплекса организационных, технических, технологических и экономических мероприятий на региональном или местном уровне. Система предполагает создание на базе существующих производственных природоохранных предпринимательских организаций сети специализированных стационарных площадок рекультивации (модулей биокомпостирования). В дальнейшем такая сеть может быть объединена в единую региональную производственную природоохранную систему.

Необходимыми этапами при создании системы являются:

- согласование принимаемых хозяйственных и природоохранных решений, согласование нормативных и правовых актов государственных и муниципальных органов, так и их исполнения;
- координация работы уже существующих в регионах и вновь создаваемых структур по сбору, переработке и утилизации нефтесодержащих отходов;
- работа с предприятиями и организациями, повсеместная организация сбора отходов;
- определение экономических целевых показателей (конечных и промежуточных) по организации и эксплуатации стационарных площадок биокомпостирования;
- рациональное использование научных и методических разработок, практического опыта природоохранных организаций при решении задачи рациональной переработки и утилизации нефтезагрязненных отходов.

Опыт эксплуатации действующих стационарных и локальных площадок рекультивации в г. Санкт-Петербурге, Ленинградской и Московской областях, а

также выполненные специалистами ООО "БИОЦЕН" расчеты, показывают, что стоимость очистки 1 куб. метра загрязненных осадков с учетом всех необходимых сопутствующих работ составляет 40-150 долларов в зависимости от объемов переработки.

Таким образом, биологические способы являются основными и, чаще всего, единственно возможными способами ликвидации нефтяных загрязнений и переработки осадков. Их отличают высокая эффективность, экономичность, простота, надежность и экологическая безопасность. Они выгодно комбинируются с некоторыми механическими и физическими способами, что делает их незаменимыми при переработке загрязненных нефтепродуктами отходов и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Серьезным доводом в пользу применения технологии биокомпостирования является относительная простота организации площадок рекультивации нефтезагрязненных отходов. В состав площадки входят такие технологические элементы как собственно биомодуль - площадка переработки отходов, площадка складирования структураторов и биовосстановленного грунта, склад хранения ингредиентов и инвентаря.

Проведенные работы позволили снизить концентрацию нефтепродуктов до нормативного уровня, по их результатам получены соответствующие гигиенические документы.

Сейчас только на территории Российской Федерации в нефтяных амбарах различных нефтеперерабатывающих предприятий накоплены сотни миллионов тонн токсичных нефтешламов [93]. Из-за отсутствия современной эффективной технологии утилизации нефтешламов возникла реальная угроза крупномасштабного загрязнения почв, подземных вод, рек и морей. Кроме того, становится вполне реальной опасность остановки нефтеперерабатывающих предприятий из-за переполнения нефтяных амбаров нефтешламами.

Так в чем же собственно состоит сложность эффективной утилизации нефтешламов.

Дело в том, что химический состав нефтешламов предельно сложен. Кроме того, далеко не все их фракции можно сжечь или переработать. В нефтешламах присутствуют нефть, вода, нефтяные эмульсии, асфальтены, гудроны, ионы металлов, различные механические примеси и даже радиоактивные элементы. Нефтешламы состоят из трех ярко выраженных фракций: водной, нефтяной и твердой. Кроме того, они существенно различаются по своему составу и свойствам в зависимости от качества и состава исходной сырой нефти.

Для переработки нефтешламов используют биотехнологии, химиотехнологии, акустические, термические и чисто огневые технологии, а также комбинированные технологии.

Общим недостатком всех перечисленных технологий утилизации и переработки нефтешламов является их низкая производительность и высокие материальные, энергетические и финансовые затраты. Кроме того, они не позволяют осуществить полную переработку и утилизацию нефтешламов и не обеспечивают экологическую безопасность для окружающей среды.

Электроогневая технология утилизации отходов

Суть предлагаемой автором [93] электроогневой технологии сжигания любых веществ состоит в создании практически идеальных условий горения пламени сжигаемых любых токсичных отходов, в связи с чем значительно облегчается задача окончательной очистки отходящих газов. Электрическое поле взаимодействует (на атомарно-молекулярном уровне) с радикалами любых углеводородных веществ и одновременно воздействует на любые углеводородные цепочки, в частности на бенз(а)пирен, таким образом, что они расщепляются на водород, сгораемый в пламени, и углерод, который быстро доокисляется в электрическом поле до безвредного углекислого газа. Электроогневая технология чистого горения пламени запатентована автором (Пат. 2071219 РФ, пат. 2125682 РФ, пат. 2125168 РФ и пат. 2117870 РФ)

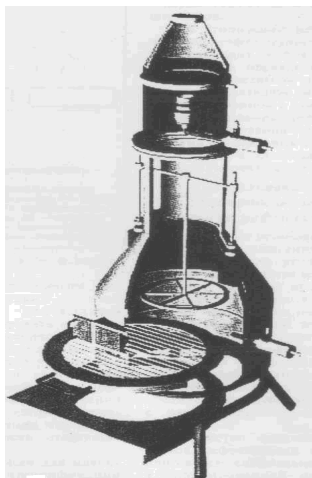
Вначале необходимо откачать и переработать в полезные товарные продукты большую часть сырой нефти, отстоявшейся на поверхности нефтяных амбаров. Причем термическую ректификацию этой нефти целесообразно производить прямо в нефтяном амбаре с нефтешламами или непосредственно около него.

Затем необходимо откачать и обработать в центрифугах последующие слои нефтешламов, относительно маловязкие водонефтяные легкие эмульсии, превращая их в эффективное топливо для теплоэнергетики.

Далее необходимо последовательно или параллельно откачивать слой воды, которая присутствует во всех нефтяных амбарах.

Что делать с теми фракциями нефтешламов, которые невозможно сразу откачивать из амбаров. Их необходимо размягчить прямо в амбарах, используя для этого теплоту, полученную от сжигания части нефтешламов.

**Рисунок 27. Электрифицированная печь сжигания
нефтешламов.**



Для этого целесообразно часть сырой нефти все же оставлять в этих нефтешламовых амбарах и сжигать ее на поверхности амбаров для выработки теплоты.

В процессе теплового разжижения густых, вязких и твердых фракций нефтешламов появляется возможность частичной перекачки их из амбаров и расфасовки в энергетические капсулы и брикеты из наиболее твердых смолистых фракций нефтешламов для последующего использования в качестве топлива. Делать такие горючие капсулы и брикеты из густых и твердых, наиболее энергоемких фракций нефтешламов весьма перспективно и выгодно. Эти брикеты далее необходимо подсушивать, используя теплоту от сжигания части более легких фракций нефтешламовых эмульсий, а потом упаковывать и складировать.

Такие энергетические капсулы... некоторых фракций нефтешламов можно использовать в котельных и при выполнении энергозатратных огневых технологий, например, при получении асфальтов, цементов в качестве высококалорийного "чистого" топлива. В этом случае их можно с пользой сжигать в специальных электрифицированных топках котельных установок (Пат. 2079786 РФ). Этот способ интенсификации горения позволяет использовать в качестве топлива любые горючие отходы. Эффективность использования котлов повышается за счет формирования теплового потока от факела по вектору электрического поля прямо на котел.

В основе электроогневой технологии лежит каталитическое воздействие электрического поля на процесс горения любых веществ и газов. В результате применения данной технологии можно утилизировать отходы, мусор и нефтешламы.

Преимущества разработанной на основе этой технологии установки: экономичность в эксплуатации (расход топлива и электроэнергии снижен в несколько раз), дешевизна при производстве, высокая степень очистки отходящих газов. При сжигании нефтепродуктов, включая нефтешламы, резко снижается количество всех токсичных компонентов в отходящих газах на 70 - 80 % первоначальной их концентрации. И что наиболее важно, в процессе электроогневого горения активно разрушаются любые отходы, включая нефтешламы. В пламени исчезают практически все токсичные компоненты, не только такие простые, как CO, CH, NO, но и такие сложные канцерогенные вещества типа бенз(а)пирена.

Технология позволяет быстро утилизировать практически все токсичные компоненты отходов, в т. ч. и нефтешламы.

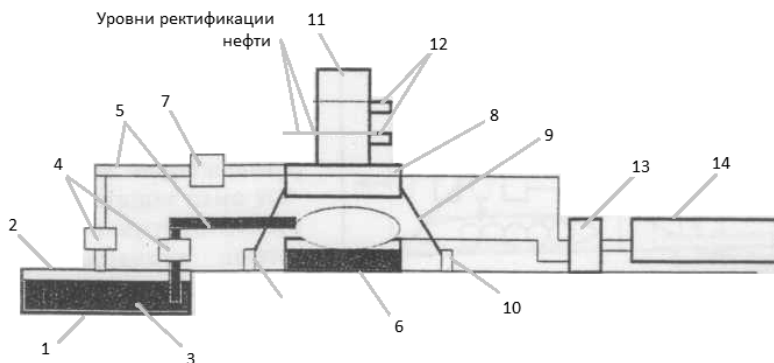
При электроогневом послойном сжигании остатков конкретных нефтешламов можно регулировать параметры активизирующего горение электрического поля (напряженность, частоту высокого напряжения) в зависимости от состава и количества нефтешламов для обеспечения оптимальной скорости горения и достижения минимальной токсичности отходящих газов.

В ряде случаев для максимальной интенсификации процесса горения остатки нефтешламов сжигают в переменном электрическом поле определенной частоты, выбранной по критерию максимального чистого их сжигания.

А в некоторых случаях процесс сжигания нефтешламов необходимо проводить в постоянном электрическом поле с вектором напряженности поля, ориентированным в направлении, перпендикулярном к поверхности нефтешламов, с предельно высокой напряженностью, выбранной в зависимости от состава нефтешламов, по критерию максимальной интенсивности горения при минимуме токсичности отходящих газов.

Для утилизации нефтяной и водонефтеэмульсионной составляющих нефтешламов необходимо параллельно со сжиганием остатков нефтешламов осуществлять ректификацию собранной с поверхности нефтешламов нефти путем использования тепловой энергии от сжигания остатков нефтешламов для получения бензина, керосина и т.д.

Рис. 28. Комбинированная установка электроогневого сжигания нефтешламов:



1 — амбар с нефтешламами; 2 — слой нефти; 3 — нефтешламы; 4 — насосы;

5 — трубопроводы; 6 — устройство сжигания остатков нефтешламов; 7 — ротационный сепаратор; 8 — устройство ректификации нефти; 9 — опорные колонны; 10 — электроизоляторы; 11 — ректификационная колонна; 12 — патрубки для отвода товарных нефтепродуктов (бензин, керосин); 13 — блок регулирования высокого напряжения; 14 — электросеть (автономная или стационарная)

Установки электроогневого сжигания нефтешламов

С помощью установки электроогневого сжигания нефтешламов можно утилизировать их как непосредственно в амбаре, так и на производстве для обеспечения безотходной переработки нефти.

При безотходной технологии переработки нефти утилизацию нефтешламов осуществляют в специальных электрифицированных отходосжигающих печах (рис. 27), соединенных трубопроводами с ректификационными колоннами.

Устройство сжигания остатков нефтешламов выполнено в виде специальной электрифицированной печи, в которой предусмотрено устройство подачи нефтешламов в зону горения и выгрузки золы, а также чаша для сжигания нефтешламов, над которой размешен электроизолированный электрод с коронирующими иглами, причем этот электрод присоединен электрически к одному из выходов высоковольтного блока напряжения, второй выход которого присоединен к чаше со сжигаемыми нефтешламами.

Для проведения комплексной утилизации нефтешламов в нефтяных амбарах, необходимо использовать комбинированное устройство с нефтеулавливающим приспособлением (рис. 28), состоящее из погружного насоса, губчатого валика, отжимного устройства, сепарационной емкости и ректификационной колонны, размещенной над печью сжигания остатков нефтешламов, а также содержащее само устройство электроогневого сжигания остатков нефтешламов.

В установках установлены датчики уровня токсичности отходящих газов, которые связаны с устройством управления параметрами высоковольтного преобразователя напряжения.

Предложенная технология чистой интенсивной переработки и огневой утилизации нефтешламов позволяет на порядок удешевить процесс утилизации нефтешламов, повысить производительность устройств при реализации данного процесса, а главное, сделать его экологически чистым.

Она может быть применима для быстрой и эффективной очистки любых нефтяных пятен.

Обводненность нефтешламов составляет 2-60 %. Содержание углеводородной фазы 5-85 %, механических примесей 5-20 %. В соответствии с этим пределы изменения физико-химических характеристик нефтешламовых систем также весьма широки.

Кроме того, состав нефтешламов существенно неоднороден по глубине приемных резервуаров и прудов-накопителей. Верхний слой представляет собой нефтемазутную композицию с определенным содержанием мелкодисперсных механических включений сравнительно небольшого количества воды - порядка 5-

10%. Далее, как правило, расположен водоорганический слой с содержанием воды до 80 %. За ним следует слой отстоявшейся минерализованной воды. Придонный (битуминозно-шламовый) слой, как правило, состоит из спрессованной смеси тяжелых углеводородов и механических примесей с содержанием воды до 20-25 %.

Разумеется, данная характеристика слоевого строения хранилищ нефтешламов довольно условна, но тем не менее определяет возможную специфику технологии при решении вопросов утилизации нефтешламов.

Используемые в промышленной практике методы обработки нефтешламовых продуктов могут быть классифицированные следующим образом. [96]

Методы закачки, предусматривающие перевод иЛТама в суспендированное состояние и закачки его в подземные горизонты. При относительно небольших экономических затратах, применение данного метода всегда связано с потенциальной угрозой загрязнения грунтовых вод.

Метод капсулирования - смешение шламовых продуктов с стабилизирующими агентами для формирования твердой устойчивой массы, удерживающей жидкую фазу.

Метод биологического восстановления, предусматривающей смешение шлама с чистым поверхностным грунтом с последующим введением в полученный композит питательных веществ, способствующих развитию бактерий, вызывающих постепенное разложение углеводов.

Широкое практическое применение в настоящее время получают методы прямой термодесорбции нефтешламов, использующие их термический нагрев с последующей конденсацией и улавливанием углеводородной фазы. Данная группа методов обеспечивает возможность дальнейшего использования выделенных углеводородов, но реализация сопряжена с высокими энергетическими затратами и малой экономической эффективностью.

Принципиальная схема процесса переработки нефтешламов может быть представлена следующим образом [94]. Исходный нефтешлам с любым соотношением водной и углеводородной фазой направляется в смесительную емкость, куда подается нагретая до 40-50 °С вода в количестве, необходимом для формирования водонефтяной эмульсионной системы прямого типа (н/в). После тщательного перемешивания и последующего первичного отстоя в двухфазном сепараторе отделяется эмульсионный слой, представляющий полидисперсную смесевую композицию воды и нефти, от суспензионного слоя, сформированного механическими примесями перерабатываемого нефтешлама в объеме водной фазы.

Разделение компонентов суспензионного слоя сравнительно легко и быстро осуществляется методом гравитационного отстоя либо центрифугирования.

Наибольшие сложности представляет разделение на фазовые компоненты эмульсионного слоя, представляющего собой также полидисперсную систему, в качестве дискретной фазы которой выступает эмульгированная нефть или нефтепродукты. Данная водоземная система может характеризоваться очень высокой агрегативной устойчивостью, в силу чего использование методов ее разделения в поле массовых сил часто оказывается мало эффективным и очень длительным.

Для решения данной проблемы нами разработан и испытан в промышленных условиях метод деэмульсирования водоорганических систем, базирующийся на эффекте резкой интенсификации процессов массообмена в условиях инверсии фаз [95]. Инверсия фаз в рассматриваемой системе может быть достаточно легко осуществлена при изменении концентрационных соотношений водной и углеводородной фаз в рабочей зоне массообменной аппаратуры. Осуществление многократной инверсии фаз в процессе обработки эмульсионного водонефтяного потока, обеспечивает достижение качественных показателей отбираемых продуктов - воды и углеводородной фазы (нефти или нефтепродуктов).

Отделяемая нефть может использоваться как целевой товарный продукт, имеющий определенную рыночную стоимость. Дренируемая вода в технологическом цикле переработки нефтешламов без какой-либо дополнительной обработки может быть возвращена в пруды-накопители нефтешламов. Разработанные конструкции массообменных контактных аппаратов обеспечивают качественное разделение водонефтяных эмульсионных систем за время их непрерывной обработки в рабочей зоне контакторов порядка 10-15 минут при температуре до 60 °С.

Отбираемая по данной технологии углеводородная фаза согласно результатам исследования состава проб, отобранных из различных шламовых накопителей нефтеперерабатывающих предприятий, характеризуется показателями плотности в диапазоне 850-940 кг/м³ с температурами начала кипения 85-96 °С, ее фракционирование выход продуктов разгонки составляет 75-86 %, оставшаяся часть приходится на долю кубового остатка с показателями, приближающимися к характеристикам неокисленных битумов.

Глава 8.

Переработка и утилизация осадка при подготовке питьевых вод в водоснабжении.

*Горе тому, кто строит дом свой не правдою
и горницы свои – беззаконием,
кто заставляет ближнего своего работать
даром и не отдает ему платы его.*

В Библия. Книга пророка Иереми 22:13

8.1. Обработка осадков водопроводных станций. Прием водопроводных осадков на канализационные очистные сооружения.

На многих водопроводных станциях Украины и России образуется в результате очистки природных поверхностных вод алюмосодержащими коагулянтами - сульфатом алюминия и оксихлоридом алюминия - из расчета 5-7 мг/л (по Al_2O_3) [101, 102]. В ряде случаев совместно с коагулянтами применяется полимерный флокулянт дозой 0,05-0,1 мг/л. Образующийся осадок накапливается в отстойниках в течение 15-30 сут в зависимости от качества воды, ее температуры и седиментационных свойств осадка. Из отстойников осадок влажностью 99-99,9 % выводится в иловые резервуары, откуда традиционно перекачивался на иловые карты или в пруды-накопители. Ежегодно на четырех водопроводных станциях г. Москвы образуется порядка 30 тыс. т сухого вещества осадка.

В целях улучшения экологической обстановки в московском регионе в МГП «Мосводоканал» принято решение о поэтапном прекращении эксплуатации иловых площадок и прудов-накопителей водопроводных станций. Были рассмотрены и экспериментально проработаны два основных направления обработки водопроводных осадков, широко применяемые в мировой практике: обезвоживание на месте образования осадков; сброс в канализацию с последующей обработкой совместно с городскими сточными водами и их осадками.

Механическое обезвоживание водопроводного осадка

В МГП «Мосводоканал» в 90-е годы была проведена серия промышленных экспериментов по обезвоживанию осадков водопроводных станций на мембранном камерном фильтр-прессе с применением извести. При дозе CaO 20-50 % сухого вещества водопроводного осадка технологических трудностей в процессе механического обезвоживания не возникает. Однако высокая стоимость извести и

увеличение транспортных затрат на вывоз обезвоженного осадка делают этот метод в настоящее время экономически нецелесообразным. Поэтому в 1998 г. на малогабаритном мембранно-камерном фильтр-прессе фирмы «Netzsch» (Германия) были проведены промышленные испытания процесса обезвоживания водопроводного осадка с использованием в качестве реагента тобиш органических флокулянтов.

Обезвоживанию подвергали осадки всех водопроводных станций Москвы с учетом типа реагентов, использованных на стадии водоподготовки.

По результатам эксперимента для осадков РВС (Московский водо источник) и ЗВС (Волжский водо источник) были получены следующие технологические показатели обезвоживания на мембранно-камерном фильтр-прессе: влажность кека 53-75 % в зависимости от зольности осадка; оптимальный флокулянт - катионный высокомолекулярный Праестол 853; расход флокулянта при обезвоживании осадков на основе сульфата алюминия 4,5-6 кг/т сухого вещества, для осадка на основе оксихлорида алюминия 2,5-3 кг/т сухого вещества; производительность фильтрпресса 2,5-2,8 кг/(м ч) сухого вещества; продолжительность фильт- роцикла - стадия фильтрации 40-60 мин при влажности осадка 96- 97 % и предельном давлении фильтрации 7 атм, стадия отжима 25-30 мин при предельном давлении отжима 15 атм.

Независимо от типа коагулянта, использованного при водоподготовке, обезвоженный осадок (кек) представляет собой плотные, устойчивые к разрыву пластины толщиной 20-22 мм лишь со слегка увлажненным ядром. Кек хорошо сходит с фильтроткани без ее замазывания. Фильтрат содержит незначительное количество взвешенных веществ на всех стадиях фильтроцикла, в большинстве случаев 20-70 мг/л. Однако содержание железа и марганца исключает возможность его использования в оборотном водоснабжении на водопроводной станции.

Обезвоживание осадков ВВС характеризуются следующими технологическими показателями: влажность кека 75-82 %; оптимальный флокулянт - слабокатионный (Прае- стол 644, Праестол 852); производительность фильтр-пресса 2,2 кг/(м-ч) сухого вещества; продолжительность фильтроцикла - стадия фильтрации 50-60 мин при влажности осадка 97-97,5 % и предельном давлении фильтрации 7 атм, стадия отжима 25-30 мин при предельном давлении отжима 15 атм.

Обезвоженный осадок ВВС несмотря на повышенную влажность (в среднем 77 %), обладал высокой прочностью и упругостью кека. Это указывает на высокое содержание в подобном осадке химически связанной влаги, которую невозможно отделить физическими методами обезвоживания. При недостаточной дозе флокулянта внутри кека формировалось переувлажненное ядро со свободной водой, отжиму которой препятствовала плотная кора.

Осадки водопроводных станций волжского водоисточника в отличие от осадков москворецкого водоисточника ¹⁸⁸ требуют высокой энергии смешения с

раствором флокулянта и предварительной выдержки перед подачей на фильтрпресс. По результатам опытно-промышленных испытаний процесса обезвоживания осадков вод проводных станций Москвы на камерном фильтр-прессе можно сделать следующие выводы:

при механическом обезвоживании водопроводного осадка расход флокулянта и влажное кека находятся в прямой зависимости от значения цветности исходной воды водоисточника;

основным фактором, препятствующим глубокому обезвоживанию водопроводных осадков высокоцветных вод в камерном фильтр-прессе, является относительно большая толщина кека в его камерах (2-3 см), что препятствует отходу всей свободной воды из центральной части. Уменьшение толщины отжимаемого осадка способствует более полному отжиму влаги при меньшем давлении;

камерные фильтр-прессы рационально использовать для обезвоживания водопроводных осадков низкоцветных вод. Осадки можно обезвоживать на мембранных камерных фильтр-прессах с применением полимерного кондиционирования без минеральных реагентов и присадок при высоких технико-экономических показателях;

использование флокулянтов в процессе водоподготовки улучшает водоотдающие свойства образующихся осадков, что создает предпосылки к улучшению технико-экономических показателей обезвоживания водопроводных осадков непосредственно на станциях водоподготовки.

Совместная обработка водопроводных осадков и городских сточных вод

Территориальное расположение водопроводных станций Москвы позволяет осуществлять сброс осадков в канализационную сеть Курьяновской станции аэрации (КСА) в канализационную сеть Люберецкой станции аэрации (ЛСА).

Многолетний опыт приема осадка на КСА в количестве 25-35 т/сут сухого вещества (5-8 % массы поступающих на станцию взвешенных веществ), осуществляемый с конца 80-х годов, показал, что водопроводный осадок, выделенный из низкоцветных вод московского водоисточника, не оказывает негативного влияния на работу сооружений очистки воды. Сброс водопроводного осадка отчасти повлиял на влажность сырого осадка (увеличение с 94-95 до 95,7 %), а также на эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках (снижение до 40-45 %). На влажность уплотненного избыточного ила осадок московского водоисточника влияния не оказал, поскольку их седиментационные характеристики близки. Высокая зольность осадка (73-85 %) оказала значительное влияние на зольность сырого осадка и активного ила, величина которой изменяется в диапазоне 33-44 % в зависимости от времени года.

Наибольшее влияние прием осадка оказывал в период паводка, когда в результате повышения мутности поверхностных вод его количество возрастает

приблизительно в два раза. Поскольку в этом же период поступление осадкообразующих загрязнений в канализационную сеть с территории города увеличивается, суммарное действие двух паводковых факторов приводило к увеличению расхода смеси сырого осадка и избыточного активного ила на 20-30 % по сравнению с межпаводковым периодом. Внедрение в 1996 г. аппаратного сгущения избыточного активного ила решило проблему управления объемным расходом сырых осадков и дозой загрузки осадка в метантенки.

Для получения достоверной информации о влиянии осадка волжского водоисточника на показатели работы производственных сооружений и качество очистки сточной воды в 1999 г. был проведен промышленный эксперимент по приему осадка ЛСА. Промышленный эксперимент проводили в два этапа: сброс в канализационную сеть 60 и 100 % образующегося на водопроводной станции осадка. Максимальный расход осадка составлял порядка 38 т/сут сухого вещества при средней зольности 59 % и содержании алюминия 18,5%.

По результатам промышленного эксперимента установлено, что сброс осадка не оказал отрицательного влияния на качество очищенной воды по всем контролируемым показателям, включая алюминий. Содержание общего алюминия в очищенной воде за период эксперимента составляло 0,14 мг/л при средней величине за 1999 г. 0,15 мг/л. В начале приема осадка отмечалось нарушение показателей работы сооружений биологической очистки воды, обусловленное увеличением индекса активного ила со 130 до 180 мл/г. В дальнейшем иловый индекс снизился до 80-110 мл/г, что позволяет предположить либо адаптацию активного ила к новым условиям, либо наличие иного технологического фактора, не связанного с приемом водопроводного осадка.

Гидробиологические наблюдения за биоценозом активного ила показали, что в ходе эксперимента имело место ухудшение ряда показателей, в частности, снижение численности простейших и видового разнообразия, изменение соотношения свободноплавающих и прикрепленных инфузорий, чувствительных и устойчивых к неблагоприятным факторам микроорганизмов. В процессе приема осадка биоценоз активного ила стабилизировался на новом уровне, что не отразилось на качестве очищенной воды.

Наибольшее влияние осадок СВС оказал на объем сырых осадков. Средний расход смеси сырого осадка и уплотненного избыточного активного ила до начала эксперимента составлял 10,6 тыс. м³/сут (395 т/сут сухого вещества). При приеме на обработку 100 % осадка объемный расход смеси возрос до 12,8-13,5 тыс. м³/сут (приращение на 21-27 %), расход сухого вещества сырых осадков - на 13 % вместо ожидаемого приращения на 9 %. Увеличение объема осадка первичных отстойников, очевидно, вызвано плохими седиментационными свойствами осадка еде. что прогнозировалось на стадии лабораторных исследований. Для сохранения

эффективности механической очистки сточной воды на обычном уровне (50-60 % в зависимости от блока очистки) потребовалось увеличить вывод сырого осадка из отстойников.

Сброс осадка водопровода практически не оказал влияния на показатели сбраживания, в частности, на общее количество выделяемого биогаза. Однако удельный распад беззольного вещества осадка несколько снизился. Это объясняется тем, что часть беззольного вещества смеси сырого осадка и активного ила представлена гуминовыми веществами и другими сложными органическими соединениями водопроводного осадка (до 16 т/сут), которые не подвержены биологическому распаду в технологическом масштабе времени. Данный фактор следует учитывать в расчетах и при планировании глубины сбраживания осадков станций аэрации при большой массе принимаемых на обработку водопроводных осадков.

Анализ массового баланса алюминия показал, что осадок СВС равномерно распределяется между блоками ЛСА, а в первичных отстойниках осаждается пропорционально средней эффективности задержания взвешенных веществ, т. е. нет ни предпочтительного осаждения частиц водопроводного осадка, ни их вымывания из отстойников. Анализ содержания алюминия в сыром осадке, активном иле и сброженном осадке оказался достаточно точным инструментом контроля за поступлением водопроводного осадка в канализационную сеть. Напротив, анализ концентрации алюминия в поступающей сточной воде был малоинформативным из-за существенных колебаний значений - от 0,6-0,8 (фон) до 2,5 мг/л (пик поступления водопроводного осадка в течение суток).

По результатам производственного эксперимента было сделано заключение, что прием водопроводный на ЛСА количественно ограничивается производительностью действующих метантенков и уплотнителей сброженного осадка. Для обеспечения надежной эксплуатации ЛСА комиссия рекомендовала увеличить мощность сооружений по сбраживанию сырых осадков и уплотнению (сгущению) сброженного осадка в объеме, соответствующем увеличению их количества в результате приема на обработку всего осадка СВС. До осуществления этих мероприятий было рекомендовано сбрасывать осадок водопровода в количестве не более 17-20 т/сут сухого вещества (порядка 40-50 т осадка, образующегося на СВС).

В период с 2000 по 2002 г производился прием осадка в рекомендованном объеме. Эксплуатация станции аэрации данных условиях в целом подтверждает выводы производственного эксперимента: качество очистки сточной воды по контролируемым показателям и ухудшилось; объемный расход осадка возрос на 26 % в 2002 по сравнению с 1998 г. при увеличении расхода сухого вещества осадка на 9 %; концентрации-алюминия в сухом веществе осадков возросла до следующ

значений: в осадке первичных отстойников 1,6-2,4 % (в среднем 1,8 %), в избыточном активном иле 1,6 %, в сброженно осадке 2,1-2,6%.

Изучение химического состава и удобрительных свойств водопроводного осадка

Наработка промышленных образцов обезвоженного водопроводного осадка позволила провести их испытания на предмет утилизации. Направления утилизации коммунального осадка определяют его химический состав и физико-химические свойства.

Данные по микроэлементу составу в табл. 30.

Несмотря на существенные различия в зольности, все водопроводные осадки характеризуются высокой биологической стабильностью органического вещества. В большей степени загниванию подвержены осадки, полученные в период цветения воды, но и в этом случае их биологическая активность намного ниже, чем у канализационных осадков. Поэтому осадки данного типа не выделяют интенсивных гнилостных запахов при хранении, обезвоживании и сушке. Благодаря биологической стабильности органического вещества, прочной связи азота в гумусе, а фосфора в алюминатах водопроводные осадки не создают дополнительной нагрузки по БПК, азоту и фосфору на сооружения биологической очистки сточной воды станций аэрации.

Водопроводные осадки по составу аналогичны сапропелям повышенной зольности, средней удобрительной ценности по содержанию азота, повышенной - фосфора и низкой - калия. Состав осадков по всем показателям соответствует нормативным требованиям к сапропелевым удобрениям (табл.30), а также ниже или равен предельно допустимому количеству элементов в почвах тяжелого механического состава.

В связи с потенциально высокими удобрительными свойствами были проведены детальные агрохимические исследования обезвоженных водопроводных осадков московского и волжского водоисточников. Полученные результаты указывают, что водопроводный осадок увеличивает плодородие почвы, повышает урожайность зерновых культур в 1,4-1,7 раза, при этом присутствующая в осадке гидроокись алюминия не оказывает токсичного влияния на корневую систему растений.

Таблица 30. Микроэлементный состав водопроводных осадков.

Показатель	РВС (москворецкий водоисточник)		ВВС (волжский водоисточник)		Норматив по ТУ 2191-022-00483470-93 (сапропелевые удобрения)
	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	
рН	7,5	7,4	6,8	6,9	>5
Органическое вещество, %	30,3	27,5	52,5	46,8	>50
Зола, %	69,7	72,5	47,5	53,2	<50
Азот общий, %	0,9	1	0,7	0,9	> 1
Азот аммонийный, %	0,03	0,05	0,04	0,03	
Азот нитратный, мг/кг	Не обнаружен	Слабо обнаружен	Не обнаружен		
Фосфор общий (P2O5), %	1,4	1,3	1,4	1,1	Не нормируется
Фосфор подвижный (P2O5), мг/кг	40	30	35	40	
Калий общий (K2O), %	0,4	0,4	0,09	0,08	
Калий подвижный (K2O), мг/кг	20	20	10	10	
C/N	16	14	36	26	
Кальций (Ca), %	2,2	1,7	0,8	0,9	< 12,2
Магний (Mg), %	0,5	0,4	0,1	0,2	Не нормируется
Алюминий (Al), %	7,9	11,2	14,4	12,9	<7
Железо (Fe), %	2,18	1,9	0,26	0,65	Не нормируется
Натрий (Na), %	0,58	0,68	0,57	0,57	<300*
Свинец (Pb), мг/кг	5	3	3,5	3	Не нормируется
Мышьяк (As), мг/кг	8,4	6	2,7	2,4	< 1*
Ртуть (Hg), мг/кг	0,06	0,1	0,05	0,4	<3*
Кадмий (Cd), мг/кг	Не обнаружен	0,1	0,1	0,1	<500*
Никель (Ni), мг/кг	23	20	11	12	Не нормируется
Хром (Cr ³⁺), мг/кг	31	28	6	18	<1500**
Марганец (Mn), мг/кг	3380	2970	660	500	<50**
Цинк (Zn), мг/кг	170	110	74	84	< 100*
Медь (Cu), мг/кг	31	19	31	37	<20*
Молибден (Mo), мг/кг	1	1	1	1,5	Не нормируется
Стронций (Sr), мг/кг	107	129	55	74	
Барий (Ba), мг/кг	402	373	192	158	
Титан (Ti), мг/кг	942	1109	391	397	
Ванадий (V), мг/кг	40	36	17	16	< 100*
Цирконий (Zr), мг/кг	77	77	53	47	
Кобальт (Co), мг/кг ~	4	4	1	1	~Не нормируется
Литий (Li), мг/кг	16	15	4	4	

* Первый класс пригодности. ** Второй класс пригодности.

Главный вывод, который был сделан после проведения агрохимических испытаний, заключался в том, что осадки водопроводных станций не ухудшают удобрительные свойства осадков станций аэрации. Более того, поступление в канализационную сеть взвешенных веществ с низким содержанием потенциально опасных элементов снижает их содержание в канализационном осадке.

Выбор и реализация технических решений по обезвоживанию водопроводных осадков в МГП «Мосводоканал»

Проведенные опытно-промышленные испытания показали, что оба изученных направления - самостоятельное механическое обезвоживание водопроводных осадков и их совместная обработка с городскими сточными водами - осуществимы на практике.

Прием водопроводных осадков на канализационные очистные сооружения возможен при условии совершенствования технологии и увеличения производительности сооружений обработки осадка. При равной производительности водопроводных станций и канализационных очистных сооружений и 100-процентном сбросе осадки определяют 3. показатели качества очистки сточных вод и обработки осадка. Основным негативным фактором является увеличение осадкообразующих загрязнений и ухудшение их седиментационных свойств.

В настоящее время в связи с осуществляемым переводом московских очистных сооружений на технологию удаления биогенных элементов и сжигания осадка ведется переход к постоянной схеме обработки водопроводного осадка – механическому обезвоживанию на месте его возникновения [103,104].

Таким образом, сброс водопроводного осадка в систему канализации возможен, однако усложняет, а подчас и дестабилизирует (при залповых сбросах большого количества водопроводного осадка, особенно после паводка) работу очистных сооружений [108]. Совместная обработка наиболее подходит для сооружений с классической биологической очисткой, не имеющих метантенков и использующих почвенную утилизацию осадка.

8.2 Переработка осадков, образованных при подготовке питьевых и очистке атмосферных сточных вод.

Одними из сложнейших проблем коммунальных служб крупных городов являются переработка, использование, утилизация или захоронение осадков, образованных при подготовке питьевых и очистке ливневых сточных вод. Реагентная обработка природных вод - наиболее распространенная технология водоподготовки в городах, использующих для водоснабжения поверхностные источники. Образующиеся при этом гидроокисные осадки трудно поддаются обезвоживанию. Осадки поверхностных водоисточников содержат природные органические и минеральные вещества (фито- и зоопланктон, бактерии, продукты жизнедеятельности организмов и их отмершие остатки; загрязнения, поступающие в водоемы в

результате размыва русел рек, - гуминовые кислоты, фульвокислоты, глинистые частицы, мелкий песок, карбонатные породы, нерастворимые соли металлов), а также антропогенные загрязнения, поступающие с ливневыми, бытовыми и производственными сточными водами. Кроме того, в осадках содержатся нерастворимые примеси, содержащиеся в коагулянтах, и остаточное количество коагулянта.

На примере станций с поверхностным водозабором Московского региона установлено, что осадок водопроводных станций, не подвергавшийся дальнейшей обработке, имеет следующий состав, %: влажность - 99,7-93,6; потери при прокаливании - 21-67; SiO₂ - 1,6-42; Al₂O₃ - 14-36; Fe₂O₃ - 0,2-5; CaO - 0,1-3,5; MgO - 0,2-3,5 [105,106].

Содержание в осадке тяжелых металлов почти никогда не превышает величин ПДК. Средние концентрации металлов в осадках составляют, мг/кг сухого осадка: Cd < 2; Cu - 234; Cr - 187; Ni - 102; Pb - 230; Zn - 557. Практически все обнаруженные тяжелые металлы, за исключением кадмия, присутствуют в химически пассивных формах оксидов или силикатов. Ионы кадмия могут переходить в раствор в кислой среде (например, в кислых почвах).

На загрязненность ливневых сточных вод и состав осадков существенно влияют следующие факторы: благоустройство территорий, плотность населения, интенсивность движения транспорта и пешеходов. В состав атмосферных осадков входят загрязнения, накапливающиеся на поверхности тротуаров, проездов, крыш и т. д. Основными источниками взвешенных веществ ливневых сточных вод, переходящих в осадок, являются пыль, аэрозоли, промышленные выбросы, частицы несгоревшего топлива, продукты разрушения дорожного покрытия и эрозии почвы, мусор, опавшие цветы и листья. Весной талым стоком смываются песок и соли, применяющиеся для борьбы со льдом на проезжих частях улиц и тротуаров. Осадок ливневых сточных вод представляет собой в основном минеральные частицы, его зольность превышает 70-75 %. Свойства взвешенных веществ осадка ливневых сточных вод с различных водосборов практически одинаковы и различаются только фракционным составом.) Плотность твердого вещества осадка составляет в среднем 2,5 т/м³.

Отечественными и зарубежными исследованиями отмечается высокая бактериальная зараженность ливневых сточных вод: она только в 10-100 раз ниже, чем бытовых сточных вод. Большая часть бактерий содержится в твердой фазе, что свидетельствует об опасности осадка в санитарно-эпидемиологическом отношении. В ливневых сточных водах, кроме обычных взвешенных веществ и нефтепродуктов, содержатся тяжелые металлы пестициды, поверхностноактивные вещества и пр. Бактериологический состав осадков ливневых сточных вод вызывает необходимость

их обеззараживания перед сбросом или утилизацией так как они сильно загрязнены бактериями группы кишечной палочки.

Для решения проблемы утилизации осадков питьевых и ливневых сточных вод ОАС «ЦНИИЭП инженерного оборудования» предложена технология обработки осадка, включающая следующие этапы:

подготовительный - обезвреживание осадка на фильтр прессах с предварительным кондиционированием;

основной - обработка полученного кека негашеной известью, при этом образуется зернистый гранулированный материал и одновременно происходит обеззараживание осадка за счет повышения температуры до 80 °С при реакции негашеной и вести с водой осадка.

Для определения параметре предложенной технологии были проведены натурные исследования осадков, образованных при водоподготовке питьевых и очистки ливневых сточных вод. Первый этап обработки осадка предполагает его кондиционирование флокулянтom с последующим обезвоживанием на фильтрпрессах.

Полученные результаты свидетельствуют, что кек влажностью 77 % можно Получить при дозе флокулянта 0,15-0,25 % к сухому веществу осадка и давлении не менее 4,5 атм.

Для исследования осадков ливневых сточных вод был взят осадок из отстойников муниципального района Москвы - Ново-Переделкино. Состав осадка, полученного при обработке ливневых сточных вод без применения коагулянта: влажность 48- 53 %, зольность 80,5-86 %, удельная масса - 1,35 г/мл; с использованием в качестве коагулянта сернокислого алюминия: влажность 59-73 %, зольность 81-82 %, удельная масса 1,2-1,3 г/мл. Результаты исследований показали, что обезвоживание осадков ливневых сточных вод на фильтрпрессе при давлении не менее 4,5 атм с применением флокулянта дозой 0,025 % к сухому веществу осадка позволяет получить кек влажностью 40-42 %. Для каждого вида осадка доза флокулянта должна быть скорректирована экспериментально.

На втором этапе обработки осадка необходимо выполнить: во-первых - обеззараживание кека обезвоженных осадков (особенно осадков ливневых сточных вод); во-вторых - собственно получить утилизируемый продукт - инертный гранулированный материал. В мировой практике для переработки осадков с получением утилизируемых продуктов предлагаются различные методы. Среди возможных - отверждение цементами с целью дальнейшего размещения переработанных осадков. Для стабилизации отходов, в частности кислых нефтешламов, были опробованы летучая зола, цементная пыль, известь, силикат натрия и природные минералы (бентонит и аттапульгит) в различных сочетаниях. Лучшие результаты получены при применении смеси летучей золы и аттапульгита.

Осадки промышленных сточных вод, содержащие тяжелые металлы, предлагалось смешивать с глинами или глинистыми сланцами, например каолином или монтмориллонитом (в отношении 1:1 - 1:40 по сухому веществу), и формировать гранулы, которые затем подвергают термической обработке в течении 5-30 мин. Образующийся нетоксичный продукт используют при изготовлении строительных конструкций.

В ЦНИИЭП инженерного оборудования разработана технология термохимической переработки осадков с использованием негашеной извести. В результате такой обработки происходит обеззараживание осадка под воздействием высоких температур. Конечным продуктом является сыпучий материал, который можно использовать в строительстве, в частности, для формирования в балансе дорожного покрытия гидрофобного слоя толщиной 0,1-0,3 м в зависимости от условий прокладки трассы. При добавлении к кеку (влажность 80 %), полученному при обезвоживании осадков питьевых вод, негашеной извести в различных концентрациях наблюдалось повышение температуры в процессе обработки до 55-102 °С. При дозах извести 30-40 % (от количества воды) достигалась температура 80-95 °С, влажность полученного материала составляла 48-54%.

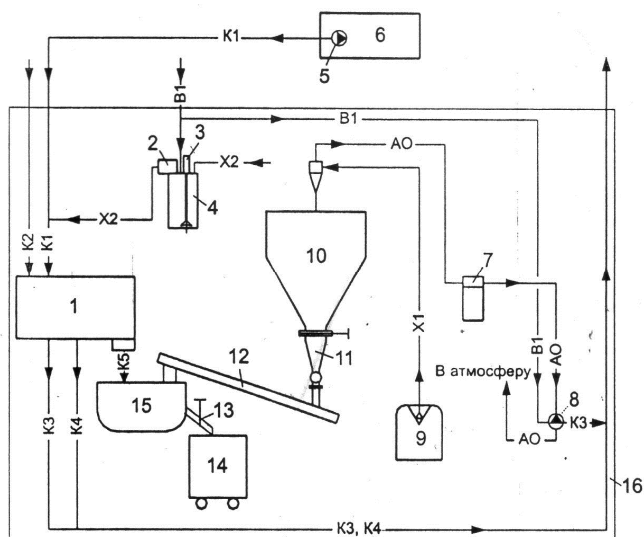
Как указано выше, в осадках питьевых и особенно ливневых сточных вод могут находиться практически любые возбудители болезней человека и животных (бактерии, вирусы, яйца гельминтов). Число яиц гельминтов в 1 кг осадка ливневых сточных вод может достигать нескольких сотен. В основном это яйца аскариды, реже власоглава, солитера, широкого лентеца и некоторых других. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных. На полигонах хранения осадка, на иловых площадках, при попадании в водоемы часть яиц погибает, а часть сохраняется в течение длительного времени - до 5 лет и более.

Теоретически для обеззараживания и обезвреживания осадков питьевых и ливневых сточных вод могут применяться различные способы: термические, химические, ультрафиолетовое излучение и др. На практике в настоящее время применение получили только термические методы: прогревание, сушка при повышенной температуре, сжиганий.

Предложенная технология позволяет: получить из осадков, образующихся при очистке питьевых и ливневых сточных вод, новый гранулированный материал, безопасный в санитарно-эпидемиологическом отношении, который можно использовать при строительстве дорог или в качестве источника минерального сырья при производстве строительных материалов; существенно сократить или полностью ликвидировать накопители осадка на водоочистных станциях и тем самым вернуть в хозяйственное или культурное использование значительные участки земель. На

основе технологии можно разработать мобильную (в контейнерном испытании) установку по переработке осадков питьевых и ливневых сточных вод.

Рисунок 29. Технологическая схема установки по переработке осадков



1- фильтр пресс; 2- насос-дозатор; 3- мешалка; 4- бак флокулянта; 5- насос подачи осадка; 6- накопитель; 7- фильтр; 8- водокольцевой вакуум-насос; 9- контейнер с известью; 10- бункер для извести; 11 - объемный питатель; 12- винтовой конвейер; 13 - теща с затвором; 14 - контейнер для готового продукта; 15 - смеситель; 16 - крупнотоннажный контейнер; K1 - поступающий осадок; K2 - промывная вода; K3 - сливная вода; K4 - фильтрат; K5 - обезвоженный осадок; X1 - негашенная известь; X2 - флокулянт; B1 - вода из хозяйственно-питьевого водопровода; АО - воздух

8.3 Утилизация осадка, образующегося на станциях обезвоживания подземных вод.

Артезианская вода Томского водозабора характеризуется содержанием железа 2-5 мг/л, а в отдельных скважинах до 12 мг/л, и без дополнительной очистки не пригодна для использования в коммунальном хозяйстве и ряде производств [107]. На станции Томского водозабора содержание железа в воде доводят до значений 0,3 мг/л. Аэрация осуществляется упрощенным способом на аэраторах путем излива ее из труб, расположенных над поверхностью камеры, для контакта и обогащения воды кислородом воздуха. Затем вода подается на скорые фильтры, где происходят

окисление двухвалентного железа до трехвалентного гидроксида и последующая фильтрация через фильтрующую загрузку скорых фильтров. На скорых фильтрах образуется большое количество осадка, что представляет серьезную экологическую проблему для города. Аналогичная проблема существует и в других населенных пунктах, в которых используется вода из подземных источников равнинных и заболоченных местностей, в частности, Томской и Тюменской областей.

Целью настоящей работы [107] было изучение отходов (осадка) водоочистки (ОВО) Томского водозабора и возможности их утилизации с последующим использованием в различных областях промышленности и строительства.

На первом этапе был изучен качественный, количественный и фазовый составы, форма и размер частиц ОВО и некоторые другие характеристики. По данным атомно-эмиссионного, плазменно-фотометрического, ионно-хроматографического и химического анализов, основой отходов является Fe - 33 %, а также Mn - около 4 %, Si - 4 %, Ca, Sr, Ba, Mg - в сумме около 1 %, остальные элементы (Cu, Sn, Ag, Cr, B, Ti Pb) - в концентрации менее 1 %, Lu, Eu - следы. Рентгенографические исследования, подтвержденные магнитохимическими измерениями, показали, что основой отходов является немагнитная фаза α -оксигидроксида железа - гетит (α -FeOOH). Кроме того, ОВО содержат большое количество рентгеноаморфной фазы. Анионный состав показывает наличие карбонат- и бикарбонат-ионов до 0,14 %, фосфатов - до 0,04 % и небольшое количество силикатов, что позволяет предположить присутствие в ОВО карбонатов щелочно-земельных металлов и фосфатов переходных металлов, в частности, железа. Наличие на дериватограммах пика 250-400 °C позволяет предположить наличие в ОВО органических веществ, вероятно, комплексов металлов с почвенными кислотами - гуматов и фульватов. Качественный химический состав ОВО не меняется при очистке воды из разных скважин, а количественный может незначительно изменяться.

Удельная поверхность порошка ОВО, измеренная методом БЭТ, составляет 180-270 м²/г.

Исходя из приведенных выше характеристик ОВО, литературных данных и проведенных авторами исследований можно предложить направления утилизации ОВО, представленные схематично на рис. 30.

Существующая в настоящее время технологическая схема переработки ОВО предполагает только захоронение. Этот путь нерентабелен, так как не предусматривает какое-либо использование осадка. Кроме того, схема утилизации, включающая концентрирование ОВО и удаление воды в отстойнике с последующей подачей ОВО на иловые площадки, не работает, так как при проектировании не были учтены реальные характеристики образующегося осадка. Сейчас промывную воду со

скорых фильтров вместе с ОВО отводят в р. Кисловку, что еще более усугубляет экологическую проблему.

Рис. 30. Направления утилизации отходов станции обезжелезивания.



На Западе, в частности в странах Скандинавии в основном действует второе направление,

т. е. брикетирование влажного осадка, его последующая сушка и использование в металлургии. Этот путь решает экологическую проблему, однако заведомо нерентабелен, так как требует большой затраты энергии на получение чугуна и стали по сравнению с получением из руды (магнетита).

Учитывая химический состав ОВО, авторы предложили и апробировали в лабораторных условиях технологию переработки ОВО, позволяющую получать хлорид железа (III) - $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, соответствующий квалификации «чистый», а также концентрат сульфатов тяжелых и щелочно-земельных металлов. Концентрат имел следующий состав, %: CaSO_4 - 75, MgSO_4 - 20, BaSO_4 - 4,25, SrSO_4 - 0,1, кроме того, обнаружены следы Pb, Si, Al, Ag. По составу концентрат удовлетворяет требованиям к сырью для варки архитектурно - строительных стекол и может быть использован для этих целей.

Была предложена принципиальная схема технологической линии по переработке ОВО станции обезжелезивания на химические реактивы. Проведены также краткое экономическое обоснование и маркетинговые исследования, которые

показали, что внедрение технологии переработки осадка станции обезжелезивание Томского водозабора на хлорид железа (III) и выделение из него концентрата сульфатов щелочно-земельных металлов будет рентабельным и целесообразным процессом. Полученный хлорид железа (III) может быть использован предприятиями коммунального хозяйства и радиотехнической промышленностью. Однако в современных экономических условиях весь хлорид железа (III), который можно получить из ОВО Томского водозабора, вряд ли будет востребован, поэтому помимо переработки на химические реактивы целесообразно искать другие пути утилизации ОВО.

Получение пигментов (четвертое направление), особенно магнитного для записи информации, является наиболее интересным с точки зрения высоких технологий и экономически оправданным, так как магнитные пигменты гораздо дороже, чем обычные. По ряду характеристик порошок ОВО может быть использован в качестве сырья для их производства. Был предложен и апробирован в лабораторных условиях способ получения магнитных пигментов, включающий термическую обработку порошка ОВО.

На заводе магнитных лент «Тасма» (г. Казань) из полученного магнитного пигмента был изготовлен образец магнитной ленты, которая по ряду характеристик превысила показатели лент на основе отечественного порошка ПМ но значительно уступала зарубежным аналогам. Основной причиной ухудшения качества магнитного пигмента является сильная агломерация частиц порошка ОВО, которые не удалось деагломерировать обычными способами. Однако после испытания на совместимость с различными связующими оказалось, что полученный порошок может быть использован как пигмент для получения красок на основе олифы, нитролаков, а также для окрашивания бетона и отделочного раствора. При этом технология термообработки порошка ОВО может быть существенно упрощена.

Использование ОВО в технологии изготовления стройматериалов (пятое направление) привлекательно для полного решения экологической проблемы, так как по этому пути можно утилизировать большое количество ОВО. Предварительные исследования, проведенные на Томском домостроительном комбинате, показали, что ОВО можно применять при изготовлении газобетона как заменителя шлама, так как интенсивное газовыделение и поднятие горбушки происходят в течение 2 ч. Плотность газобетона после тепловлажностной обработки составляет более 10 кгс/см², объемный вес - 450 кг/м³. ОВО можно использовать как добавку при изготовлении керамзитового гравия для уменьшения его объемной массы и улучшения теплоизоляционных свойств.

ОВО можно также применять для получения окрашенных бетона и отделочного раствора. Однако исследования показали, что ОВО без дополнительной обработки не пригодны для этих целей, так как значительно снижают прочностные

характеристики и морозостойкость. Это полностью согласуется с проведенными исследованиями свойств ОВО.

Существующая схема утилизации ОВО, предусматривающая захоронение, экономически нерентабельна и не решает экологическую проблему. ОВО по своему составу и свойствам могут быть ценным сырьем для производства химических реактивов, пигментов различного назначения и стройматериалов. Технически возможно и экономически целесообразно получение из ОВО хлорида железа (III), концентрата сульфатов щелочно-земельных и тяжелых металлов для использования в стекольной промышленности, при изготовлении пигментов для лаков, красок и при производстве стройматериалов.

При планировании создания предприятия по переработке ОВО целесообразно не останавливаться на какой-то одной из описанных выше технологических схем, а проектировать несколько линий по переработке ОВО, с тем чтобы выпускать несколько вышеперечисленных продуктов для более четкого реагирования на спрос и повышения рентабельности предприятия.

Установлено [108], что гидроокисный осадок водопроводов можно применять при изготовлении шпаклевок и мастик, заменяя им мел или меловую пасту. Возможно использование осадка в составе вяжущего (до 50%) в кладочных растворах М 4; 10; 25; 50 и бeТонах марки 50, 75 (до 30%). При изготовлении гипсолита или сухой штукатурки допустима замена на гидроокисный осадок до 40-45 % в составе вяжущего.

Предварительная очистка в осветлителе – рециркуляторе с формированием слоя взвешенного осадка в осветлителе - рециркуляторе и спорость восходящего потока воды этого процесса, а также определены скорость фильтрования на фильтре с плавающей загрузкой из гранулированного полистирола, высоту загрузки, диаметры гранул полистирола в фильтрующей загрузке, потери напора в загрузке в процессе фильтрования, грязеемкость фильтрующей части; водоочистой установкой, продолжительность фильтроцикла и режимы промывки установки. Кроме того, определены удельные расходы регентов на единицу массы локализованных в подфильтровом пространстве взвешенных веществ.

Проведенные исследования дали возможность получить математические зависимости, характеризующие процесс водоочистки, и установить рациональные технологические параметры работы осветлителя- рециркулятора и фильтра с плавающей загрузкой применительно к условиям исследований, которые были проверены в производственных условиях

Кроме того, исследована и проверена в промышленных условиях возможность использования локализованного осадка при изготовлении стройматериалов; выполнена технико-экономическая оценка предложенных технических решений. Разработана технологическая схема очистки промывных вод

ВОС и утилизации осадка гп/тем его использования при изготовлении стройматериалов.

Обоснован выбор состава формовочной смеси и опытным путем проверена технология применения осадков промышленных вод для изготовления стройматериалов. Разработана технология [102] термического обезвреживания осадков совместно с керамическими глинами и органоминеральными добавками в целях практического применения на строительстве в виде кирпича или керамического гравия, которая по заключению «Аккредитованного испытательного центра ГП «Крымстандартметрслогия» разрешает применение стройматериалов из обожженной осадка с добавками во всех видах строительства без ограничения. Изготовленный керамический кирпич из формовочной смеси с добавлением 25% подсушенного осадка. ВОС соответствует марке «М-100» и требованиям стандартов по прочности.

Новая технология утилизации осадка позволяет на 80 - 95% обезвредить технологические жидкие отходы водоочистой фильтровальной станции и исключить загрязнение природных вод взвешенными и органическими веществами, токсичными веществами в виде хлорорганических соединений и тяжелых металлов.

Известны различные способы утилизации осадка, дающие определенный экономический эффект [109]. Например, для создания жаростойкого покрытия поддонов и изложниц или в качестве добавок при выпуске портландцемента, строительных материалов, например, керамзита. Использование железосодержащего осадка взамен дорогостоящих высокоогнеупорных опудривателей (глинозема) для опудривания гранул керамзита позволяет повысить его качество и увеличить объем выпуска при том же расходе сырья. Гидрооксидный осадок водопроводных станций можно применять при изготовлении шпатлевок и мастик, заменяя им мел или меловую пасту.

Возможно использование железосодержащего осадка в качестве вяжущего (до 50 %) в кладочных растворах М4; М10; М25 и М50 и бетонах марок 50 и 70 (до 30 %). При изготовлении гипсолита или сухой штукатурки допустимо в состав вяжущего вводить гидроокисный осадок до 40 - 45-% по сухому веществу.

После обработки железосодержащего осадка станций обезжелезивания серной либо соляной кислотой можно получить коагулянт $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или FeCl_3 . При этом структура осадка изменяется и его объем уменьшается.

Область использования хлорида железа шире: для травления печатных плат в радиотехнической промышленности, очистки сточных вод в коммунальном хозяйстве, повышения эффективности и скорости окисления ионов двухвалентного железа на станциях обезжелезивания.

Одно из более перспективных направлений - получение пигментов для лаков и красок на масляной основе.

Технология получения густотертой краски на основе такого пигмента заключается в его тщательном перемешивании и растирании с олифой (70 %) в специальных машинах-краскотерках до получения однородной суспензии.

Основные характеристики сурика, полученного по ГОСТ 8135-74(числитель) и по описанной технологии (знаменатель), приведены ниже.

Остаток на сите, № 0063,	
% (не более).....	0,3/0,2
Укрывистость, г/м ² , не болем.....	20/30 - 35
Массовая доля железа, %, не менее....	65/70
Массовая доля воды, %, не более.....	1/0,1
pH водяной витяжки.....	6,5 - 7,5/7

Свойства пигмента, полученного на основе выделенного осадка, не уступают свойствам пигмента, получаемого по традиционной химической технологии, при этом новая писанная технология значительно проще и экономичнее традиционно применяемой.

Новая рецептура получения почвогрунта разработана с использованием осадка станций водоподготовки [110]. Результаты биотестирования с применением двух биотестов (церидафнии и инфузории) выявили допустимую токсичность почвогрунта, а также отличную водопрочность. Исследования показали, что при добавлении осадка станций водоподготовки в суглинков активно происходят процессы структурообразования. Проведенные комплексные физические исследования характеризуют почвогрунт как хорошо структурированный, устойчивый к неблагоприятным механическим и физико-химическим воздействиям, в том числе кислотно-основных растворов. Данный почвогрунт рекомендуется использовать для создания газонов, а также для выращивания биотопливных культур. Сформированные газоны с новым почвогрунтом показали чрезвычайно высокую устойчивость к пересыханию в условиях засухливого лета 2010 г.

Литература

1. Калетнік Г.М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та екологічна безпека України — К — 2010 “Хай — Тек Прес”

2. Долина Л.Ф., Данько Т.Т., Данько Е.А. Еколого — економічні аспекти обробки і використання осадків стічних вод // Екологія і природокористування: Збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України. Випуск 6. - Дніпропетровськ, 2003- с. 134- 138

3. Монография: Новые физико- химические способы утилизации промышленных отходов нефтеперерабатывающих, деревообрабатывающих и металлургических производств. /А. А. Пошаян, А. В. Нестеров, С. В. Лукашов, О. С. Винникова; Под ред. А. А. Пашаяна.- Брянск: ООО «Полиграм- Плюс,» 2010.- 240с

4. На прекрасном голубом Дукае. Система очистки вод в Вене признана лучшей в Европе //Вода Magazine,- 2007,- №1 Сентября,- с 4-11.

5. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения. Авдеево О. К.,- Кретинин А. А и др. Под общ. Ред. Акад. НАНУ Соботовича Э. В. Монография.- Киев: Изд. Центр «ДрУк,» 2003.- 400с.

6. Очистка производственных сточных вод: Учеб, пособие для вузов /С.В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов; Под. ред. С.В Яковлева,- 2- е изд.- М.: Строй издат, 1985.- 335с.

7. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод.- Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня,”- 2002,- 622с.

8. Memento technique de l'eau huitieme edition. Iiegezmont, 1978

9. Канализация населенных мест и промышленных предприятий /Лихачев Н. И., Ларин И. И. И др.; Под общ . ред. Самохина В. Н.- 2е изд.- М. Спроеиздот,1981-639

10. Беляева С. Д., Гюнтер Л. И. Управление осадками сточных вод- важнейшая экология проблема // ВСТ, 2007, №1, с.5- 9.

11. Долина Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод: Монография. - Днепропетровск ; Континент, 2003- 218с.

12. Шапар А. Г., Півень В. О та ін. Відновлення рекреаційно — туристичного потенціалу на території техногенного ландшафтного заказника “ Візитка “ // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів. Матеріали 4 — ї міжнародної науково — практичної конференції; м. Дніпропетровськ, Україна, 02 — 05 жовтня 2007р /Редкол.: А. Г. Шапар (голов. Ред.) та ін. Дніпропетровськ, 2007. - 300с

13. Сметана С. М. Особливості використання осадів стічних вод для формування постіндустріальних екосистем на порушених гірничими роботами землях. // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів. Матеріали 5 — ї міжнародної науково — практичної конференції; м. Дніпропетровськ, Україна, 06 — 09 жовтня 2009р / Редкол.: Шапар А. Г (голов. Ред.) та ін. -

Дніпропетровськ, 2009. - Частина II, - 191с.

14. Долина Л. Ф. Гунько Е. Ю, Машихина П. Б. повышение энергоэффективности станций очистки сточных вод // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 73 — й Международной научн. - практ. Конференции (Днепрпетровск, 23 — 24 мая 2013г) — Д.: ДИИТ, 2013 — 360с

15. Долина Л. Ф., Машихина П. Б. Комплекс энергосберегающих технологий на станциях очистки сточных вод // Энергосбережение на железнодорожном транспорте: Материалы II Международной научно — практической конференции. (Ждениево, 31 мая — 03 июня 2011г) — Д.: ДНУЖТ, 2011. - 65с

16. Foresti E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives // Water Science and Technology. 2002. №45(10)

17. Pfzfwiza W. Anaerobic treatment of agricultural residues and wastewater. Application of high – rate reactors/ - lund University. 2004

18. Van Haandel A. C., Ksto M. T., Cavalcanti P. F. F, Florencio L. Anaerobic reactor design concets for the treatment of domestic wastewater // Reviews is Enviornmenttal Science and Biotechnjlogy. 2006/ №5

19. Кофман В. Я. Повышение энергоэффективности очистных сооружений канализации зарубежом // В С Т, №9, 2012, с. 65 — 72

20. Mc Carty P. L., Baej., Kimj. Domesti wastewater treatment as a net energy producer – Can this be achieved? // Environental Sciece & Technology. 2011. №45

21. Kulkarni P. Combined heat and power potentialat Califoenia's wastewater treatment plants. IERP Workshop. Sacrfmento, CA july 23, 2009.

22. Мельник Е. А., Рублевская О. Н. Пути решения проблемы энергосбережения в системе канализования Санкт — Петербурга // ВСТ, 2012, №12, с. 45 — 52

23. Информационный бюлitenь. Биогаз — ресурс возобновляемой энергии. Национальная газомоторная Ассоциация. 2002, №2 (10), июнь

24. Долина Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод. Учебное пособие. Днепрпетровск, 2 изд. «Стандарт», 2001 — 82с . 25

25. Щетинин А. И. Элементный состав активного ила // ВСТ, №11, 2010. с. 49 - 54

26. Туровський Н. С. Обработка осадков сточных вод — М.: Стройиздат, 1986, - 256с.

27. Евилевич А. З. Утилизация осадков сточных вод — Л.: Стройиздат, 1988

28. Герасимов Г. Н. Обработка осадков сточных вод // ВСТ, 2008, №12, с. 67 —

29. Герасимов Г. Н. Мембранный биологический реактор BRM (опыт обработки промышленных и городских сточных вод) // ВСТ, 2004. №4, ч. 1.

30. Зыкова И. В., Панов В. П. Утилизация избыточных активных илов Э и ПР, Декабрь, 2001, с. 29 — 30

31. Долина Л. Ф. Проблемы сокращения и утилизации осадков сточных вод // Проблемы природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів. Матеріали 4 — ї Міжнародної наук. - практ. Конференції, м. Дніпропетровськ. Україна, 02 — 05 жовтня 2007р. - Д., 2007. - 300с.
32. Долина Л. Ф. Современная технология в обработке и сокращении осадков сточных вод. // Вода і водочисні технології. Науково — технічні вісті, №4 (6) 2011 — 1 (7), 2012, с. 31 — 35.
33. Герасимов Г. Н. BIOLYSIS — Способ сокращения объема осадков сточных вод // ВСТ, 2006, №5, с. 41 — 44.
34. Сидоров С. М., Керин А. С. Соколова Е. В. Применения установки « УГОС — 110» в технологических процессах обработки осадков сточных вод. // ВСТ, 2011, №7, с. 66 — 72.
35. Гришин Б. М. Андреев С. Ю. Обработка возвратного активного ила в вихревом электрогидродинамическом устройстве // ВСТ, 2006, №3, ч.1, с. 33 — 36.
36. Фридман А. Я., Шемякина Е. В., Курочкин В. К. и др. Органоминеральные композиции на основе осад сточных вод канализационных очистных сооружений. - М., 2000.
37. Губанов Л. Н., Севостьянова С. М., Катраева Н. В. и др. Обработка осадков биологической очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности. // ВСТ, 2010, №1, с. 43 -46.
38. Губанов Л. Н., Копасов Е. В., Бояркин Д. В. Обезвреживания и утилизация осадков городских очистных сооружений. - Н. Новгород: ННГАСУ. 2007
39. Хакимов Ф. И., Севостьянов С.М. Компостирование обработанных аминокислотными реагентами осадков коммунальных сточных вод //Агрономия. 2004.№3
40. Домин Д. В., Севостьянов С. М., Татаркин Н.В., Худяков О. Н. Переработка осадков сточных вод в экологически безопасный компост // Земледелие 2009, №5
- Вайсман Я. Н., Глушанкова Н. С., Калинина Е. В., Дьяков М. С. Тепмическая утилизация избыточного активного ила муниципальных биологических Очистных сооружений на примере г. Перми. Пермский государственный технический университет. Туровский Н. С. Осадки сточных вод. - М.: ДеЛи принт.2008
- Аксенов В. Н., Гандурину Л. В., Керин А. С. и др. Водное хозяйство промышленных предприятий. Кн. 6. Фокулянты. Справ. пособие. - М.: Теплотехник, 2010
41. Кривень А. П. Выбор оборудование для осадков сточных вод и производственных шламов // ВСТ, 2012, №6, с. 67 — 74
42. Кинебас А. К., Васильев Б. В. и др. Обезвоживание осадков сточных вод на очистных сооружениях Санкт — Петербурга // ВСТ, №2010, №9, с. 54 — 59
43. Морозов С. В., Силякова Е. А. Обработка осадка настанциях аэрации городов Кроштадта и Пушкина // ВСТ, №2007, №8, с. 34 — 36

44. Беолусов А. А. Преимущество декантерных центрифуг Андритц для обезвоживания осадков сточных вод // ВСТ, № 2009, №4, с. 30 — 31
45. Медведев Г. П. Основные этапы развития обработки осадков сточных вод в Санкт — Петербурге // ВСТ, 2003, №4.
46. Дорис Тамер. Механическая и термическая обработка осадка сточных вод // ВСТ, 2007, №2, с. 46 — 47.
47. Футкуллин Р. Н., Миниханнова Э. А. и др. Снижение расхода реагента для обезвоживания осадков на очистных сооружениях // Э и ПР, ноябрь 2011, с. 18 — 20
48. Багаев Ю. Г., Иванов Н. А., Иванова М. Г. Влияние флокулянтов на структуру и свойства обезвоженных осадков // ВСТ, 2009, №3, с. 44 — 47
49. Грибова О. А., Серегин М. Ю., Серпокрылов Н. С. Овицидный препарат «БИНГСТИ» для дегельминтизации сточных вод и осадка. // ВСТ, 2009, №2, с. 62 — 66
50. Мамонтов Ю. Б., Кравченко А. В. Интенсификация работы иловых площадок // ВСТ, №8, с. 30 — 32
51. Зубко А. Л., Штонда Ю. И. Обезвоживания осадков городских сточных вод на передвижных компактных комплексах // ВСТ, 2010, №9, с. 14 — 17.
52. Мещенгиссер Ю. М., Колесник Ю. В и др. Использование нового метода обезвоженных осадков сточных вод // ВСТ, 2009, №4 с. 55 — 59
53. Багатеев И. А., Керин А. С. и др. Разработка, проектирование и реализация систем обработки осадков сточных вод // ВСТ, 2009, №1, с. 32 — 36
54. Багаев Ю. Г., Вешкурцев В. М., Гундырева Т. М., Тимофеев С. Л. Обработка осадка сточных вод — залог экологической чистоты. // ВСТ, №3, с. 48 — 50
55. Штонда Ю. И., Зубко А. Л. Опыт обработки и обезвоживания осадков сточных вод на сооружениях канализации г. Алушты // ВСТ, 2007, №, с. 37 — 40
56. Намяк Д. Н., Зубко А. Л., Штонда Ю. И. Обезвоживания осадков на канализационных сооружениях г. Симферополя. // ВСТ, 2008, №2, с. 40 — 43.
57. Заговский В. А., Донилович Д. А. и др. Опыт применения мембранных камерных фильтров — прессов и органических флокулянтов для обезвоживания осадков городских сточных вод // ВСТ, 2001, №3, с. 2 — 7
58. Эрнст — Хайнрих Глезель (Andritz Separation GmbH, Германия, г. Зельб) // ВСТ, 2009, №2, с. 56 — 57
59. Вершинина Т. Б., Пономаренко Е. А., Сахно А. П., Керин А. С. Оборудование для обезвоживания осадков водоочистных сооружений // ВСТ, 2005, №9, с. 21 — 25.
60. Вершинина Т. Б., Пономаренко Е. А., Сахно А. П., Керин А. С. Оборудование для обезвоживания осадков водоочистных сооружений // Вода і водоочисні технології, 2005, №3, вкресень, с. 38 — 41
61. Керин А. С., Нечаев Н. А. Ленточные фильтры — прессы и сетчатые сгустители в технологии обработки осадков // ВСТ, 2005, №5, с. 41 — 44

62. Раскатов А. В Декантеры фирмы « Флоттвеч АГ» для глубокого обезвоживания осадков сточных вод // ВСТ, 2008, №5, с. 27-29
63. П. Кноер, М. Бюхлер, А. Пуассон, А. В. Чепурнов. Низко температурная двухступенчатая сушка осадка сточных вод // ВСТ, 2012, №4, с. 7 — 11
64. Чернов В. Б, Сушиньски А. Новые направления безотходной технологии утилизации осадков сточных вод // ВСТ, 2010, №1, с. 63 — 67
65. Гюнтер Л. И. Состояние и перспективы обратки и утилизации осадков сточных вод (по материалам IV Международного конгресса по управлению отходами «Вэйст — Тэк — 2005») // ВСТ, 2005, №12, ч. 2, с. 5 — 9.
66. Кармазинов Ф. В, Пробрисний М. Д., Валяев Б. В. Опыт Водоканала Санкт — Петербурга по обработке и утилизации осадков // ВСТ, 1999, №5, с. 13 — 15
67. Кормазин Ф. В., Васильев Б. В., Григорьева Ж. Л. Списание осадков сточных вод — решение проблем их утилизации // ВСТ, 2008, №9, с. 19 — 24
68. Долина Л. Ф., Бушина Т. Л. Технологический комплекс по обработке и утилизации осадка сточных вод // Вода: проблемы и решения: материалы VIII научн. - практ. конф., г. Днепропетровск, 10.12.2007г. Д.:Видав. - творчий центр «Гамалія», 200. - с. 160 — 164
69. Кинебо А. К. Рублевская О. Н и др. Биоэлектронная система контроля качества газовых выбросов завода сжигания осадков сточных вод // ВСТ, 2012, №3, с
70. Богомолов М. В. Гаврилин А. М. и др. Натурные испытания технологий дезодорации канализационных газовоздушных выбросов // ВСТ, 2012, №10, с. 50 — 54
71. Бутусов М. М. (компания «ASH DEC», Австрия)Производство фосфорных удобрений из золы от сжигания осадка сточных вод // ВСТ, 2007, №8, с. 38 — 43
72. Долина Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография — Днепропетровск, Континент, 2008 г. - с 254
73. Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги. Серія “ Охорона навколишньої середовища”, “Відходи”, червень, 2005р №6 (18)
74. Паёнк Т.Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков // ВСТ, 2008, №5, с. 37 — 41
75. Бабок Н. А., Масленникова Л. Л. Утилизация гальванических осадков при получении обжиговых материалов улутченного качества // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. Н. Вернадского. №3 (13). 2008. То м². с. 62 — 65
76. Исидоров В. А. Экологическая химия / В. А Исидоров. - СПб.: Химиздам, 2001. - с. 304
77. Левицкая Е. Г. Использование осадков сточных вод в качестве сырья при производстве строительных блоков и бетонов // Экология и промышленность, 2012, №2, с. 58 — 61.
78. Эпоян С. М., Клейн Е. Б., Двинских Е.В. Использование извести из осадков

сточных вод. // ВСТ, 1992, №5, с. 16 — 17

79. Нефедов Б. К., Ермилов В. В. Реагентная технология обезвреживания осадков сточных вод с целью их использования в качестве органоминерального удобрения // ЭК и ПР, октябрь 2008, с. 19 — 23

80. Шевченко О. А., Дзяк М. В., Краморсова Ю. С. Гігієнічні аспекти відновлення відкритих техногенних бедлендів із застосуванням осадів міських стічних вод // Екологія і природокористування: Збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України, Випуск 15, Дніпропетровськ, 2012, с. 191 — 196.

81. Ганин Г. Н., Домнин К. В., Архипова Е. Е и др. Утилизация осадка сточных вод метод экологической биотехнологии // ВСТ, 2007, №6, ч.2, с. 66 — 70

82. Тиньчаев А. В Утилизация биологических отходов, образующихся при отведении в городах и на предприятиях на примере Алтайского края // ЭК и ПР, февраль 2009, с. 52 — 54.

83. Сватовская Л. Б и др. Утилизация отходов, содержащих ноны тяжёлых металлов и нефтепродукты // ЭК и ПР, март 2009, с. 22 — 25

84. Рубанов Ю. К., Токач Ю. Е. Утилизация отходов гальванического производства // ЭК и ПР, ноябрь 2010, с. 44 — 45

85. Амирханова Н. А и др. Утилизация шламов после электрохимической обработки титановых и коррозионно — стойких сплавов // ЭК и ПР, апрель 2008, с. 8 — 9

86. Арчегова И. Б., Хабибуллина Ф. М и др. Совместная утилизация промышленных отходов // ЭК и ПР, май 2008г., с. 22 — 25.

87. Баталин Б. С. Козлов И. А. Утилизация скопа ООО «Пермский картон». // ЭК и ПР, июнь 2009г, с. 20 — 21

88. Хакимова Ф. Х Очистка сточных вод целлюлозно — бумажного производства. Учебное пособие.: Пермь. Изд — во Пермского государственного технического университета 2007.

89. Долина Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод. Монография — Днепропетровск: Континент, 2005г. - 296с

90. Дудышев В. Д. Утилизация нефтешламов // ЭК и ПР, май 2002, с. 20 — 23

91. Пономарев В. Н., Штонда Ю. Н. Технология утилизации нефтяных шламов

92. Пономарев В. Н. Научные основы интенсификации процессов деэмульсации нефти в динамических условиях её обработки / В. Н. Пономарев // Тезисы докладов XII международной конференции « Ресурсо энергосбережения в рыночных условиях» - Киев, - Нафтохим. - 2005- с - 62 - 63

93. Потічна Ю. З Навтошлами — процес утворення, характеристика // Питання розвитку газової промисловості України. Екологія. Вип. XXXIX — 2010, с. 227

94. Королева Н. С. Основні принципи системи переробки кафтошламів в

кафтогазової промисловості // Питання розвитку газової промисловості України. Екологія. Вип. XXXIX — 2011, с. 294 — 297

95. Шкіца Л. Е, Троценко А. В. Зберігання відходів нафтогазової промисловості та шляхи їх утилізації // Екологічна безпека та раціональне природокористування. Прикарпатський вісник НТШ. Пульс. №4 (12) — 2010, с 105 — 112

96. Орлов О. О. та інш. Можливість утилізації промислових токсичних відходів у пластах з аномально низькими пластовими тисками в Україні // Доповіді Національної академії наук України, 2011, №2, - с. 117 — 119

97. Степанов А. В. Николеяню В. Н. Получение экологически чистого топлива из нефтяных остатков // Экотехнологии и ресурсо сбережение. 2004. - №4 — с. 35 — 39

98. Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций / Пахомов А. Н., Штоповоров В. Н и др. / ВСТ, 2004, №2, с. 25 — 31.

99. Байчук С. Д. Удосконалення засобів очищення промивних вод та утилізації осаду водопровідних фільтрувальних станцій. Автореферат на здобуття наукового ступення канд. техн. наук. Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне, 2011.

100. Хамидов М. Г. Опыт обработки водопроводных осадков на канализационных очистных сооружениях // ВСТ, 2007, №3, с 41 —

101. Обработка осадков станций водоподготовки / Храменков С. В, Пахомов А. Н и др. // ВСТ, 2008, №10, с. 67 — 76

102. Лебухов В. И Утилизация осадка очистных сооружений водоснабжения //ВСТ, 2010, №1, с. 28- 31.

103. Афанасьева А. А. Повцов А.Е. Переработка осадков, образованных при подготовке питьевых и очистке ливневых сточных вод // ВСТ, 2004, №6, с. 13 -16.

104. Лисецкий В. Н, Лисецкая Т. А, Андрейченко А. А. Утилизация Отходов станции обезжелезивания Томского водозабора // ВСТ, 2009, №2, с. 33 — 36

105. Утилизация гидроокисных осадков водопроводов юга страны / Лысов В, А., Бутко А. В и др. //ВСТ, 1992, №7, г. 9

106. Дзюбо В. В., Курочкин Е. Ю., Алферова Л. И. Утилизация осадка образующегося на станциях обезжелезивания подземных вод // ЭК и ПР, июнь 2009г, с. 4 — 7

107. Исследование свойств новых почвогрунтов, полученных с применением осадков станций водоподготовки / Хренов К. Е. Козлов М. Н и др // ВСТ, 2011, №10, с. 20-25

***Примечание. В списке литература приняты следующие сокращения:**

ВСТ — Водоснабжения и санаторная техника

ЭК и ПР — Экология и промышленность России

Э и Р — Экология и ресурсосбережения

Х и ТВ — Химия и технология воды.

Научное издание
Долина Леонид Федорович
Машихина Полина Борисовна

**Осадки сточных и природных вод:
проблемы и решения**

Монография
Книга печатается в авторской редакции
Подписано к печати 3.10.2013 Формат 60 * 84 1/16

Издательство « Континент »
г.Днепропетровск

49069 ул. Артема 91Б,

Свидетельство о внесении в Государственный реестр издателей,
изготовителей и распространителей издательской продукции

ДК № 1591 от 03.12.2007 г.

ISBN 978-743-8241-24-1

г. Днепропетровск 2014